

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування

«На правах рукопису»
УДК 629.735.33

До захисту допущено:
В. о. завідувача кафедри
Володимир КАБАНЯЧИЙ
« » 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»
зі спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
на тему: «Панель крила літака із композиційних матеріалів»

Виконав:

Студент VI курсу, групи АЛ-91мп
Живіцький Максим Віталійович

Керівник:

Професор, д.т.н., професор кафедри
Сухов Віталій Вікторович

Консультант:

Рецензент:

Професор, д.ф.-м.н., професор кафедри СКЛА
Чепілко М.М.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – **134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**

Освітньо-професійна програма «**Літаки і вертольоти**»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Живіцькому Максиму Віталійовичу

1. Тема дисертації «Панель крила літака із композиційних матеріалів», науковий керівник дисертації Сухов Віталій Вікторович, д.т.н., професор кафедри, затверджені наказом по університету від «04» грудня 2020 р. № 3455-с
2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2020 р.
3. Об'єкт дослідження Панель крила із композиційних матеріалів
4. Вихідні дані Злітна маса: $m_{\text{зл}} = 45000$ кг.
Параметри крила: $L = 29$ м, $S_{\text{кр}} = 127$ м², $b_0 = 5,45$ м, $b_{\text{к}} = 1,65$ м.
Матеріал панелі: Композиційний матеріал.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити
 - 5.1. Аналіз стану проблеми. Композиційні матеріали. Їх переваги та недоліки. _____
 - 5.2. Технологічні процеси виготовлення елементів конструкції з КМ. _____
 - 5.3. Вибір КСС крила і його елементів, в тому числі геометричних параметрів. Вибір навантажень, діючих на крило. _____
 - 5.4. Вибір конструктивних параметрів панелі крила. _____
 - 5.5. Реалізація алгоритму. _____
 - 5.6. Аналіз результатів розрахунку. Розробка конструкції панелі. _____
 - 5.7. Технологія виготовлення панелі. _____
 - 5.8. Розробка стартап-проекту. _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
- 6.1. Аналіз стану проблеми.
- 6.2. Розрахункова модель панелі крила.
- 6.3. Вибір навантажень на крило.
- 6.4. Аналіз результатів розрахунку.
- 6.5. Конструкція панелі.
- 6.6. Технологія виготовлення панелі.
7. Орієнтовний перелік публікацій
- 7.1. Доповідь на науково-технічній конференції з публікацією тез.
8. Дата видачі завдання: 01.10. 2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз стану проблеми. Композиційні матеріали. Їх переваги та недоліки.	до 29.11.2019 р.	
2.	Технологічні процеси виготовлення елементів конструкції з КМ.	до 01.02.2020 р.	
3.	Вибір КСС крила і його елементів, в тому числі геометричних параметрів. Вибір навантажень, діючих на крило.	до 20.03.2020 р.	
4.	Вибір конструктивних параметрів панелі крила.	до 01.07.2020 р.	
5.	Реалізація алгоритму розрахунку.	до 30.09.2020 р.	
6.	Аналіз результатів розрахунку. Розробка конструкції панелі.	до 31.10.2020 р.	
7.	Технологія виготовлення панелі.	до 30.11.2020 р.	
10.	Розробка стартап-проєкту.	до 07.12.2020 р.	
11.	Оформлення ПЗ та ілюстраційного матеріалу.	до 10.12.2020 р.	
12.	Перевірка на плагіат.	до 10.12.2020 р.	

Студент

Максим Живіцький

Науковий керівник

Віталій Сухов

РЕФЕРАТ

Актуальність теми.

Принципове значення заміни традиційних конструкційних матеріалів на багат шарові композиційні матеріали полягає в тому, що замість металів із однаковими у всіх напрямках властивостями, з'являється можливість використання нових матеріалів із властивостями, що відрізняються залежно від орієнтації наповнювача. Незважаючи на високі фізично-механічні показники багат шарових композиційних матеріалів, використання їх в машинобудуванні, особливо в авіабудуванні, вимагає врахування притаманних їм специфічних особливостей, як-от ймовірність присутності прихованих дефектів у вигляді порушення цілісності матеріалу по поверхням розділу окремих шарів. Достовірно оцінити несучу здатність елементів конструкцій, що мають технологічні дефекти, можна тільки розрахунково-експериментальним шляхом.

Таким чином, розробка методів оцінки міцності композиційних матеріалів, математичних моделей деформації й міжшарового руйнування, розвиток методів експериментального дослідження деформаційних і міцнісних властивостей конструкційних композиційних матеріалів, оцінка небезпеки технологічних і експлуатаційних дефектів, що виникають в елементах конструкцій, можливість їх локального зміцнення можна вважати надзвичайно важливими і актуальними завданнями.

В роботі проведено розрахунок панелі крила з композиційних матеріалів із різними властивостями та обрано оптимальний варіант.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота пов'язана з науковими програмами, планами та темами, що розробляються на кафедрі.

Мета та завдання дослідження.

Метою роботи є розрахунок панелі крила з композиційних матеріалів із різними властивостями й вибір оптимального варіанту.

Для реалізації поставленої мети, необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести порівняльний аналіз механічних властивостей різних полімерних композиційних матеріалів, що забезпечують можливість створення конструкції із заданими вимогами.
2. Розробити геометричні та математичні моделі для розрахунку панелі крила з композиційних матеріалів, оцінки міцності та жорсткості конструкції з полімерних композиційних матеріалів.
3. Виконати розрахунок панелі крила з композиційних матеріалів із різними властивостями та вибрати оптимальний варіант.

Композиційні матеріали є об'єктом дослідження, а предметом даної роботи є панель крила з композиційних матеріалів.

Особистий внесок здобувача: дослідження властивостей композиційних матеріалів; вибір оптимального матеріалу для виготовлення панелі крила.

Структура і обсяг роботи.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг дисертації становить 98 сторінок. Робота включає 33 рисунка, 28 таблиць, список використаної літератури з 20 найменувань.

Апробація результатів магістерської дисертації проводилась у наукових конференціях. Перелік представлено нижче.

Живіцький М.В. Basic construction materials applicable in modern aircraft industry // Науково-технічна конференція студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених «Інноваційні технології – 2020» (25 – 26 листопада 2020 р.), НАУ, Інститут новітніх технологій та лідерства. – С. 148 – 152.

Живіцький М.В., Сухов В.В. Використання вакуумної дифузії для отримання виробів із композиційних матеріалів // II Міжнародна науково-практична конференція студентів та молодих вчених «Авіа-ракетобудування : перспективи та напрямки розвитку» (2 грудня 2020 р.), Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», ІАТ. – С. 26 – 28.

Ключові слова: композиційний матеріал, панель крила, міцність, жорсткість.

ABSTRACT

Actuality of the theme.

The fundamental importance of replacing traditional structural materials with multilayer composite materials lies in the fact that instead of metals with the same properties in all directions it is possible to use new materials with properties that differ depending on the orientation of the filler. Despite the high physical and mechanical properties of multilayer composite materials, their use in mechanical engineering, especially in aircraft construction, requires consideration of their inherent specific features, such as the probability of the presence of hidden defects in the form of violation of the integrity of the material on the interfaces of the individual layers. The bearing capacity of structural elements with technological defects can be reliably estimated only by calculation and experiment.

Thus, the development of methods for assessing the strength of composite materials, mathematical models of deformation and interlayer fracture, development of methods for experimental study of deformation and strength properties of structural composite materials, risk assessment of technological and operational defects arising in structural elements, the possibility of their local strengthening can be considered extremely important and current tasks.

The calculation of the wing panel made of composite materials with different properties was made in the paper. The best option was selected.

The connection of the paper with research programs, plans and themes.

The paper is related to research programs, plans and themes that are being developed at the department.

The purpose and the objectives of the study.

The purpose of the study is the calculation the wing panel made of composite materials with different properties and the selection of the best option.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following objectives:

1. To carry out the comparative analysis of mechanical properties of various polymeric composite materials which provide a possibility of creation of a design with given requirements.

2. To develop geometric and mathematical models for calculation of the wing panel made of composite materials, an estimation of durability and rigidity of a design made of polymeric composite materials.
3. To make a calculation of the wing panel made of composite materials with different properties and to select the best option.

The composite materials are the object of the research, and the subject of this work is a wing panel made of composite materials.

The applicant's personal contribution: the research of properties of composite materials; selection of the optimal material for the manufacture of the wing panel.

The structure and the volume of the paper.

The paper consists of an introduction, four chapters, conclusions and a list of references. The total volume of the dissertation is 98 pages. The work includes 33 figures, 28 tables, a list of references from 20 items.

The approbation of the results of the master's dissertation was carried out in the scientific conferences. The list is presented below.

Zhyvitskyi M.V. Basic construction materials applicable in modern aircraft industry // The scientific and technical conference of students, graduate students, doctoral students and young scientists «Innovative technologies – 2020» (November 25 – 26, 2020), NAU, Institute of New Technologies and Leadership. – P. 148 – 152.

Zhyvitsky M.V., Sukhov V.V. The use of vacuum diffusion to obtain products from composite materials // Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists «Avia- and rocket production: trends and directions» (December 2, 2020), National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», IAT . – P. 26 – 28.

Keywords: composite material, a wing panel, strength, rigidity.

ЗМІСТ

СПИСОК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1. Аналіз стану проблеми.....	13
1.1. Історія розвитку композиційних матеріалів.....	13
1.2. Сучасне застосування композиційних матеріалів у світовому літакобудуванні.....	14
1.3. Класифікація композиційних матеріалів.....	19
1.3.1. Класифікація КМ за матеріалом матриці.....	19
1.3.2. Класифікація КМ за геометрією армуючих елементів.....	20
1.3.3. Класифікація КМ за структурою і розташуванням компонентів.....	21
1.3.4. Класифікація матричних КМ за схемою армування, конструкційний принцип.....	21
1.3.5. Класифікація КМ за методами отримання (технологічний принцип).....	22
1.3.6. Класифікація КМ за призначенням та за типом матриці.....	23
1.4. Переваги та недоліки КМ.....	36
1.4.1. Переваги.....	36
1.4.2. Недоліки.....	36
Висновки до розділу.....	38
2. Розробка алгоритму вибору конструктивних параметрів панелі крила.....	39
2.1. Алгоритм виконання	42
2.2. Вибір навантажень на крило	42
2.3. Вказівки до виконання розрахунку.....	42

					АЛмп9103.10.23.03.00 ПЗ								
Зм.	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Панель крила літака із композиційних матеріалів				Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розроб.	Живіцький										8	98	
Перевір.	Сухов В.В.												
Т. Контр.													
Н. Контр.	Поваров С.А.												
Затв.	Кабанячий												
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. АЛ-91мп								

2.3.1. Особливості проєктування панелей з композиційних матеріалів.....	43
2.3.2. Визначення необхідної кількості шарів ПКМ.....	43
2.3.3. Формування пакета.....	45
2.3.4. Визначення механічних характеристик пакета.....	49
2.3.5. Визначення діючих напружень в пакеті.....	50
2.3.6. Вибір висоти стільникового заповнювача.....	51
2.4. Результати розрахунку.....	53
2.5. Перевірочний розрахунок.....	54
2.6. Розробка конструкції панелі.....	56
Висновки до розділу.....	56
3. Технологічні процеси виготовлення елементів конструкції з КМ та їх збірка.....	57
3.1. Загальна характеристика методів виробництва композиційних матеріалів.....	57
3.2. Технологічне оснащення для виготовлення виробів із композиційних матеріалів.....	60
3.3. Технології виготовлення КМ. Просочення армуючих елементів.....	71
3.4. Виготовлення панелі крила методом вакуумної інфузії.....	78
Висновки до розділу.....	82
4. Розробка стартап-проєкту.....	83
4.1. Опис ідеї проєкту.....	83
4.2. Технологічний аудит проєкту.....	84
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	84
4.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту.....	90
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	92
Висновки до розділу.....	94
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	97

СПИСОК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ

- КМ – композиційний матеріал;
- ПКМ – полімерний композиційний матеріал;
- АП – Авіаційні Правила;
- МКМ – металевий композиційний матеріал;
- ККМ – керамічний композиційний матеріал;
- САП – спечений алюмінієвий порошок;
- ДШП – дерево-шаруватий пластик;
- ВКМ – волокнистий композиційний матеріал.

ВСТУП

Волокнисті структури широко поширені в природі, вони складають основу тканин всіх живих організмів – рослин і тварин, у яких виконують різні життєво важливі функції, однією з яких є сприйняття зовнішніх механічних впливів і збереження при цьому цілісності організмів.

Грунтуючись на тих же принципах і відповідаючи на вимоги техніки, що розвивається, люди стали створювати аналогічні матеріали – волокнисті полімерні композиційні матеріали (КМ). Сьогодні вони є найважливішими конструкційними матеріалами і залишаються в багаторічній перспективі «матеріалами майбутнього».

Комбінуючи об'ємний склад компонентів, можна отримувати КМ з необхідними значеннями міцності, жароміцності, модуля пружності, абразивної стійкості, а також створювати композиції з необхідними магнітними, діелектричними, радіопоглинаючими й іншими спеціальними властивостями.

Серед найважливіших вимог, що висуваються до конструкцій сучасних ЛА, можна назвати: мінімальну масу, максимальну жорсткість і міцність вузлів, максимальний ресурс роботи конструкцій в умовах експлуатації, високу надійність.

У даний час головним класом матеріалів, що задовольняють увесь комплекс перерахованих вимог, є КМ на основі сучасних скляних волокон у поєднанні з полімерними, металевими, вуглецевими та іншими видами матриць (зв'язуючих).

Сама ідея КМ відома давно. Принцип посилення синтетичних смол волокнистими матеріалами вперше був запатентований 1909 році. Однак, широке їх застосування в конструкціях почалося лише в 60-ті роки ХХ століття. Цьому сприяли дві обставини:

- створення методів отримання тонких високоміцних волокон малої щільності;
- отримання синтетичних смол із високими механічними, адгезійними і технологічними властивостями.

Принципове значення заміни традиційних конструкційних матеріалів на КМ полягає, очевидно, в тому, що замість металів із рівними у всіх напрямках властивостями з'являється можливість використання великої кількості нових матеріалів із властивостями, які розрізняються в різних напрямках залежно від орієнтації наповнювача. Причому, ця відмінність властивостей є регульованою, і у конструктора з'являється можливість цілеспрямовано створювати КМ під конкретну конструкцію, у відповідності з діючими навантаженнями і особливостями її експлуатації. Важливими є також технологічні можливості полімерних КМ. У КМ армуючі елементи з'єднані ізотропною полімерною, металевою або іншими видами матриці, яка забезпечує монолітність матеріалу, фіксує форму виробу, сприяє спільній роботі волокон і перерозподіляє навантаження при руйнуванні частини волокон. Тип матриць визначає також метод виготовлення конструкції.

Найважливіша перевага КМ – можливість створення з них елементів конструкції з наперед заданими властивостями, які найповніше відповідають характеру й умовам роботи. Різноманіття волокон і матричних матеріалів, а також схем армування, що використовуються при створенні композиційних конструкцій, дозволяє направлено регулювати міцність, жорсткість, рівень робочих температур і інші властивості шляхом підбору складу, зміни співвідношення компонентів і мікроструктури композиту.

1. Аналіз стану проблеми.

1.1. Історія розвитку композиційних матеріалів

Композиційні матеріали привносять в авіацію багато корисного – вони збільшують міцність деталей, знижують їх вагу й схильність до корозії, а також дозволяють скоротити кількість деталей. В авіаційних двигунах композити теж знижують вагу, що тягне за собою економію палива.

Склопластики, що з'явилися в тридцятих роках минулого століття, відразу привернули увагу авіаконструкторів, причому спочатку вони застосовувалися для виготовлення формотворчого оснащення. Компанія Douglas Aircraft першою використала склопластики на фенольному зв'язуючому для виробництва штампів, на яких швидко і дешево отримувала дослідні зразки металевих деталей методом гідропресування.

Склопластик успішно застосовувався для стапелів, просторових кондукторів та інших технологічних пристроїв, необхідних для точного монтажу складних великогабаритних деталей літаків. Незабаром почали широко впроваджуватися ненасичені поліефіри, а перед Другою світовою війною з'явилися і перші епоксидні смоли, які відкрили композитам дорогу в повітря. Початок війни підштовхнув розробки із застосування композитів у літакобудуванні. Наприклад, склопластикові обтічники дозволили знизити вагу легкого бомбардувальника Douglas A-20, а паперово-шаруватий композит значно спростив виготовлення коробчатого шпангоута крила тренувального моноплана PT-19. [1].

У 1942 році, за рішенням уряду США, на авіабазі Wright Patterson почалося широке вивчення композитних матеріалів для застосування в авіації. У 1944 р. там пройшов аеродинамічні випробування склопластиковий фюзеляж, а пізніше були виготовлені шість пар композитних крил для тренувальних літаків AT-6 і BT-15, які показали відмінні льотні якості. Саме в роки війни були розроблені такі прогресивні технології формування, як намотування і напилення, з'явилися препреги і стільникові наповнювачі. Попит на ці роботи формувався державним

замовленням, який стимулював приватні компанії до проведення інноваційних розробок у сфері новітніх технологій і матеріалів, що виявилось досить ефективним для становлення галузі композитів і літакобудування.

У кінці сорокових років були розроблені нові технології формування – вакуумний мішок, пултрузія, а також налагоджене намотування великогабаритних виробів, яке зіграло значну роль в гонці ракетних озброєнь. У 1961 році було отримане перше вуглецеве волокно, а через десять років вартість кілограма волокна знизилася в десятки разів.

У середині 50-х років ВПС США вирішили застосувати в авіабудуванні новий клас матеріалів – армовані КМ. Треба було вивчити можливості їх виготовлення на основі нових видів волокон із високими характеристиками міцності й пружними характеристиками. Практичне виробництво борних і вуглецевих волокон зумовило можливість створення КМ на їх основі. Національне управління з аеронавтики і дослідженню космічного простору (НАСА) і ВПС США стали кураторами дослідницької та технологічних програм. Реалізація цих розробок дозволила з початку 70-х років почати широке застосування КМ для виробництва літальних апаратів [1].

Таким чином, очевидно, як небагато пройшло часу від лабораторного пошуку до вирішення практичних завдань виробництва й застосування композитних матеріалів. Застосування нових композитних матеріалів у літальних апаратах підняло на новий якісний щабель літакобудування, сприяло створенню нової ракетної та космічної техніки. Є всі підстави вважати, що роль композитів в створенні нових літальних апаратів буде провідною.

1.2. Сучасне застосування композиційних матеріалів у світовому літакобудуванні

Поява композитних матеріалів на основі вуглецевого волокна в авіабудуванні зробило революцію. Ще в 60-і роки авіаконструктори шукали матеріали альтернативні важким металам. Перевагу було віддано легким і міцним

композитам. Крім того, вага композитних деталей становить не більше 20% аналогічних деталей з алюмінію, до того ж, вони мають перевагу в міцності, гнучкості й стійкості до тиску, не кажучи вже про те, що як неметали, вони, природно, можуть не боятися корозії. Варто відзначити також, що, на відміну від деревинних композитів, скловолокнисті, арамідні і вуглеволокнисті композити не містять формальдегіду, отруйних газів, на кшталт метанолу. Як наслідок в готовому вигляді деталі з композитних матеріалів досить екологічні у використанні, не вимагають особливого догляду. При регулярному очищенні композитні деталі роками виглядають, як нові.

Сфера застосування композитних матеріалів у авіабудуванні дуже широка. Вони застосовуються для виготовлення деталей літаків з великим навантаженням (обшивки, лонжеронів, нервюр, панелів і т. ін.) та двигунів (лопаток вентиляторів і компресорів), у космічній техніці – для вузлів силових конструкцій апаратів, що піддаються нагріванню, для елементів жорсткості, панелей.

Застосування композитних матеріалів забезпечує новий якісний стрибок у збільшенні потужності двигунів, енергетичних і транспортних установок, зменшенні маси машин і приладів. Високомодульні вуглеволокна застосовують для виготовлення деталей авіаційної техніки. Вуглеволокна з вуглецевою матрицею замінюють різні типи графітів. Вони застосовуються для теплового захисту, дисків авіаційних гальм, хімічно стійкої апаратури.

Вироби з бороволокна застосовують в авіаційній і космічній техніці (профілі, панелі, ротори і лопатки компресорів, лопаті гвинтів і трансмісійні вали вертольотів і т. ін.). Органоволокна застосовують як ізоляційний і конструкційний матеріал; з них виготовляють труби, ємності для реактивів, покриття корпусів та інше.

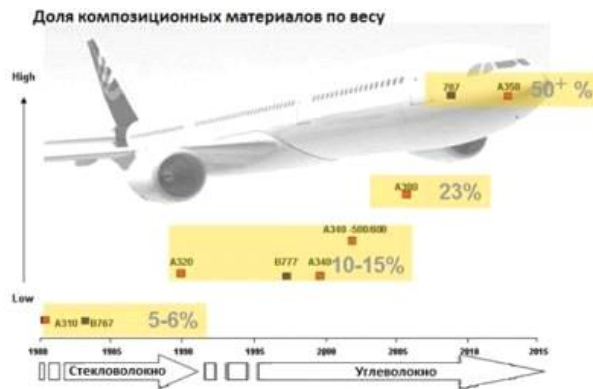


Рис.1.1. Вміст композиційних матеріалів в літаках компаній Airbus и Boeing

Ранні моделі A310 і B767 містили всього 5-6% скловолокнистих композитних матеріалів. Але, вже в 1986 році конструкція A310-200 була модернізована, що допомогло підвищити паливну ефективність. Серед змін було впровадження вертикального оперення з вуглепластиків, також гальма коліс стали робити з композитів на основі вуглецевих волокон.

У літаках A320, A340 і B777 було використано 10-15% композитних матеріалів за вагою. На цьому етапі мінімальна кількість матеріалу використовувалася на силових деталях, в основному композитний матеріал застосовувався для оздоблювальних робіт в салонах, в обтічниках, залізах і на опереннях. У сучасних літаках цих двох корпорацій A350 (Рис. 1.2.) частка композитних матеріалів за масою перевищує 50%. У конструкції A350 52% від ваги літака будуть складати композитні матеріали, 20% – алюміній, 14% – титан, 7% – сталь, 7% – інші матеріали. У літаку B787 схоже співвідношення: 50% – композитні матеріали, 20% – алюміній, 15% – титан, 10% – сталь, 5% – інші матеріали.



Рис.1.2. Airbus A-350 у лівреї ETIHAD AIRWAYS

На цьому рисунку наочно видно вигин крила, обумовлений гнучкістю деталей, вироблених із композитів. На відміну від металевого крила, гнучке композитне крило має набагато кращі аеродинамічні властивості.

У літальних апаратів малої авіації частка композитних матеріалів у вазі літака досягає 65%, з металу для них виготовляються тільки стійки шасі і двигуни (літаки Diamond, Grob (див.Рисунки 1.3 і 1.4).



Рис.1.3. Літак Diamond DA-42 MNG (Австрія)



Рис. 1.4. Літак GROB 120 (Німеччина)

Дослідження підтвердили, що композитна конструкція може значно збільшити подовження крила в порівнянні з металевими конструкціями - що реалізується на MC-21. Типове подовження крила останнього покоління

становить близько 8-9, в сучасних літаках - 10-10,5, а на МС-21 закладено 11,5. В результаті аеродинамічна якість – яка є основним параметром, що характеризує досконалість літака - на високих швидкостях польоту МС-21 вище кращих сучасних аналогів на 5-6%. За сьогоднішніх стандартів, це велика перевага. Звідси значна економія палива, збільшення крейсерської швидкості і висоти. Так, головною особливістю цього літака є так зване «чорне» (композитне) крило лайнера. Із композитів також роблять окремі елементи фюзеляжу, центроплана та оперення (рис. 1.5). У порівнянні з, наприклад, російським літаком Ту-204, який має частку вуглецевих композитів у масі планера становить 14%, у нового лайнера ця кількість зросла майже до 40%.

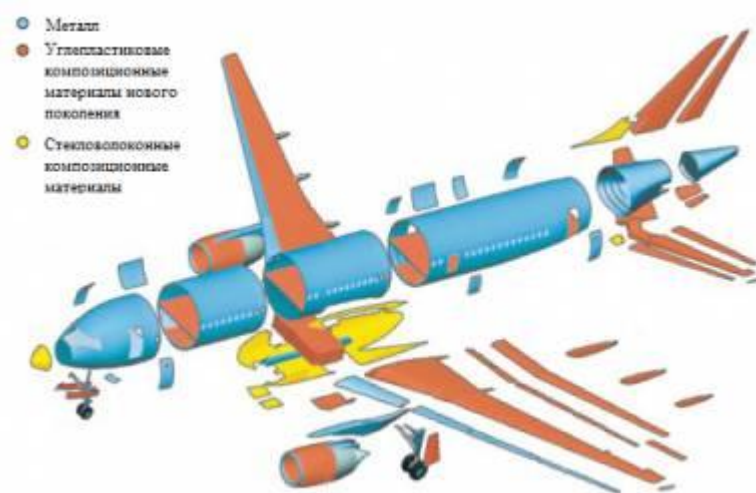


Рис.1.5. Композиційні матеріали в літаку МС-21

1.3. Класифікація композиційних матеріалів

Композиційний матеріал являє собою штучно створений неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, окремих волокон або інших складових та матриці, що їх сполучає, з чіткою межею розділу між ними. За своїми характеристиками КМ відрізняються від властивостей його складових. Компоненти КМ не розчиняються чи поглинають одне одного, вони добре сумісні між собою.

Для того, щоб вибір КМ для виготовлення різних деталей літаків був безпомилковим, виникає необхідність у впорядкуванні термінології КМ в галузі матеріалознавства, обґрунтованій класифікації цих матеріалів та їх систематизації за різними ознаками. Дотепер єдиної загальноприйнятої класифікації КМ не існує з причини того, що КМ представляють найширший клас матеріалів, який поєднує метали, полімери та кераміку. Найчастіше використовується класифікація КМ, в основу якої покладено їх поділ за матеріалом.

1.3.1. Класифікація КМ за матеріалом матриці

Матеріал матриці є найважливішою ознакою, покладеною в основу класифікації КМ. Відповідно до матеріалу, з якого виготовлена матриця КМ, усі КМ поділяють на групи: МКМ – КМ із металевою матрицею (металеві композиційні матеріали); ПКМ – композиційні матеріали із полімерною матрицею (полімерні композиційні матеріали); ККМ – композиційні матеріали із керамічною матрицею (керамічні композиційні матеріалами). КМ, що містять два і більше різних за складом матричних матеріалів, називають поліматричними [3, с. 5].

МКМ у своїй назві найчастіше мають подвійне позначення, де спочатку зазначають матеріал матриці, а потім – матеріал волокна. Наприклад, позначення мідь – вольфрам ($Cu - W$) відповідає композиційному матеріалу, в якому матрицею є мідь, а волокнами – вольфрам.

ПКМ у своїй назві зазвичай передбачають матеріал наповнювача та пластик чи волокно, що містяться в їх структурі. Наприклад, полімерні композиційні матеріали, армовані скловолокном, називаються склопластиками; ПКМ, армовані металевими волокнами, називаються металопластиками; ПКМ, армовані органічними волокнами – це органопластики; ПКМ, армовані борними волокнами, це – боропластики; ПКМ, армовані вуглецевими волокнами, називаються вуглепластиками.

Для ККМ характерне таке ж позначення, як і для МКМ. Наприклад, позначення окис алюмінію-молібдену ($Al_2O_3 - Mo$) відповідає композиційному матеріалу з матрицею з окису алюмінію і молібденовими волокнами. Інколи для позначення КМ використовується одне складне слово, наприклад бороалюміній чи вуглеалюміній. У цьому випадку перша частина слова вказує на матеріал волокна, а друга – на матеріал матриці.

1.3.2. Класифікація КМ за геометрією армуючих елементів

Класифікація згідно з геометрією армуючих елементів (порошки або гранули, волокна, пластини) зображена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Класифікація композиційних матеріалів згідно з геометрією армуючих елементів

<i>Армуючий елемент</i>	<i>Композиційні матеріали</i>
Порошки	Порошкові – дисперсно-зміцнені КМ
Волокна	Волокнисті – КМ, армовані безперервними і дискретними волокнами
Пластини	Пластичні – шаруваті КМ, що складаються з безперервних і дискретних пластин, які чергуються

1.3.3. Класифікація КМ за структурою і розташуванням компонентів

Відповідно до цієї класифікації, КМ поділяються на групи з матричною, шаруватою, каркасною і комбінованою структурою. Матричну структуру мають дисперсно-зміцнені і армовані КМ. До матеріалів із шаруватою структурою належать композиції, отримані з набору шарів, що чергуються, фольги або листів матеріалів різної природи і складу. До композиційних матеріалів із каркасною структурою належать матеріали, отримані методом просочування. Комбіновану структуру мають матеріали, що містять комбінації перших трьох груп.

1.3.4. Класифікація матричних КМ за схемою армування, конструкційний принцип

За орієнтацією й типом арматури всі КМ поділяються на дві групи – ізотропні й анізотропні. Ізотропними називають матеріали, які мають однакові властивості в усіх напрямках. Характеристики анізотропних матеріалів залежать від напрямку в досліджуваному об'єкті.

КМ із матричної структурою поділяються на хаотично-армовані й впорядковано-армовані (рис. 1.2). Хаотично-армовані КМ містять армуючі елементи у вигляді дисперсних домішок, дискретних або безперервних волокон. Ці матеріали є ізотропними або квазіізотропними. Термін «квазіізотропний» означає, що КМ є анізотропним в мікрообсязі, але ізотропним в обсязі всього виробу [4].

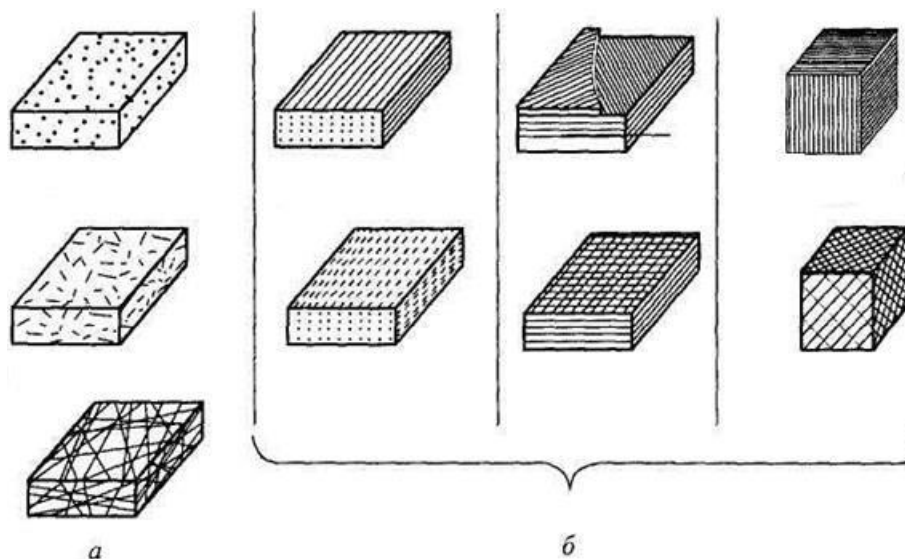


Рис. 1.2. Класифікація композиційних матеріалів за конструктивною ознакою: хаотичні (а), одномірні і просторово армовані (б) [5]

1.3.5. Класифікація КМ за методами отримання (технологічний принцип)

Згідно з цією класифікацією, КМ поділяються на матеріали, отримані рідкофазними й твердофазними методами, методами осаджування й комбінованими методами.

До рідкофазних методів отримання КМ належать просочення (просочення арматури полімерами або розплавленими металами) і спрямована кристалізація сплавів. До твердофазних методів отримання КМ належать прокатка, екструзія, кування, штампування, ущільнення вибухом, дифузійне зварювання, волочіння. КМ, отримані твердофазними методами, використовуються у вигляді порошку або тонких листів. При отриманні КМ методами осаджування, напилення матриці наноситься на волокна з розчинів солей або інших сполук, з парогазової фази, з плазми. Комбіновані методи полягають в послідовному чи паралельному застосуванні декількох методів.

1.3.6. Класифікація КМ за призначенням та за типом матриці

Класифікація композиційних матеріалів за призначенням є досить умовною, оскільки часто КМ є багатофункціональними матеріалами. Проте, серед безлічі КМ виділяють матеріали загального конструкційного призначення (несучі конструкції літаків), жароміцні матеріали (лопатки турбін літаків, камери згорання), термостійкі матеріали (вироби, що працюють в умовах частих теплових змін), фрикційні матеріали (гальмівні колодки), антифрикційні матеріали (підшипники ковзання), міцні матеріали (броня літаків), теплозахисні матеріали та матеріали зі спеціальними властивостями (магнітними, електричними).

Поняття «матриця» передбачає безперервну просторову фазу, відповідальну за збереження конфігурації виробу, передачу експлуатаційних навантажень на арматуру, опір дії інших зовнішніх чинників.

Розробка полімерних матриць для ПКМ є серйозна й надто важливою проблемою, оскільки багато властивостей КМ визначаються структурою матриці. Матриця повинна відповідати певним вимогам: міцність, жорсткість, теплостійкість; пластичність, тріщиностійкість, ударна в'язкість; засвоюваність, технологічність зв'язуючого. Перед дослідником, який конструює композиційний матеріал, постає надзвичайно складне завдання: знайти компроміс, оптимізувати, враховуючи ще й екологічні, економічні, кон'юнктурні чинники.

Виділяють наступні типи матриць: металеві (алюміній і сплави, магнієві сплави, титан і його сплави, мідь, сплави нікелю і кобальту); полімерні термопласти: поліетилен, полістирол, політетрафторетилен, полівінілхлорид, поліфеніленоксид, поліфеніленсульфід, поліетилентерефталат, полікарбонат, поліаміди; реактопласти: фенолоальдегідні смоли, аміносмоли карбамідоформальдегідні смоли, меламіноформальдегідні, аніліноформальдегідні смоли, ненасичені поліефірні смоли, епоксидні, поліуретанові смоли; еластомери: ізопренові каучуки, керамічні (звичайна кераміка: силікати; технічна кераміка: оксиди Al_2O_3 , карбіди SiC , нітриди Si_3N_4 ,

бориди TiB_2 , сульфід BeS ; кермети: сполуки, що містять керамічну (Al_2O_3) і металеву складову (Cr, M, Co, Fe).

Усі матриці поділяють на кілька видів:

1) Металеві матриці. При виготовленні КМ найчастіше використовуються алюміній і ливарні сплави на його основі. Алюміній застосовується при отриманні КМ як рідко фазними, так і твердофазними методами. При виготовленні КМ твердофазними методами широко застосовують алюмінієві сплави, оскільки вони вирізняються низкою переваг: мала щільність, високий рівень механічних властивостей, висока технологічна пластичність. Для отримання КМ рідкофазними методами (литтям, просоченням) застосовують ливарні алюмінієві сплави. Ці сплави містять, крім алюмінію, в незначних кількостях Mg, Si, Mn, Cu і відрізняються підвищеною вологоплинністю, малою лінійною усадкою, зниженою схильністю до утворення тріщин при підвищених температурах. КМ на основі алюмінію також можуть бути отримані методами порошкової металургії і газотермічного напилення.

Магнієві сплави характеризуються високою питомою міцністю і малою щільністю. Магній практично не вступає в реакцію з багатьма матеріалами, що використовуються для отримання зміцнюючих волокон. Висока питома міцність титану і його сплавів дозволяє широко використовувати їх в літакобудуванні та космічній техніці. Армуючи титан і його сплави високомодульними волокнами, можна забезпечити високу жорсткість КМ. Застосування міді обмежене низьким рівнем міцності її властивостей при підвищених температурах. Цей недолік може бути усунений при виробництві КМ за рахунок армування міді волокнами вольфраму, заліза, графіту.

Низька жаростійкість КМ на основі технічно чистого нікелю є суттєвою проблемою. Для усунення цього недоліку застосовують жароміцні і ливарні сплави $Ni - Cr$. Високий рівень тривалої міцності, повзності сплавів, що деформуються, досягається застосуванням титану і алюмінію, що утворюють дисперсні частинки інтерметалідів типу Ni_3Ti і Ni_3Al , а також легуванням тугоплавкими елементами W, Mo, Nb . З використанням рідкофазних і

твердофазних методів, а також методів порошкової металургії, отримують КМ на основі нікелевих сплавів.

Кобальт і його сплави застосовують у вигляді порошків, розплаву або частинок, що наносяться газофазними методами. Кобальтові сплави відрізняються від нікелевих сплавів меншою міцністю при підвищених температурах, що пояснюється відсутністю інтерметалідного зміцнення. Рідкофазні методи отримання КМ придатні як для ливарних, так і для сплавів, що деформуються.

2) Полімерні матриці. Полімерну матрицю для КМ вибирають, враховуючи умови експлуатації виробів. Від матеріалу матриці значно залежать властивості КМ, як-от: міцність, тепло- і вологостійкість, стійкість до дії агресивних середовищ.

Полімери в якості матриці використовують або в чистому вигляді (порошки, гранули, плівки), або у вигляді сполуки, яка представляє собою дво- або багатокомпонентну систему з синтетичного полімеру і затверджувачів, ініціаторів або каталізаторів, прискорювачів затвердіння. З метою надання необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей, до складу сполуки можуть бути додані розчинники, барвники, пластифікатори, стабілізатори та інші компоненти.

При виробництві армованих пластиків найчастіше застосовують термореактивні зв'язуючі, при нагріванні яких відбуваються незворотні структурні й хімічні перетворення. Сучасне виробництво безперервно розширює використання термопластичних полімерів і еластомерів.

Нижче наведено характеристику основних типів полімерів, що знайшли застосування при виготовленні ПКМ.

Так, термореактивні полімери порівняно рідко застосовуються в чистому вигляді, найчастіше вони містять структуровані домішки. Зазвичай до них додають сумісні і несумісні домішки, як-от: наповнювачі, розріджувачі, загусники, стабілізатори, барвники, мастила, і завдяки цьому отримують складні багатокомпонентні матеріали – реактопласти. В якості зв'язуючих використовуються олігомери з молекулярною масою до 1500 г/моль, в молекулі

яких є більше двох функціональних груп. На початковій стадії отримання матеріалів і виробів термореактивні зв'язуючі мають низьку в'язкість, що полегшує процес формування виробів.

Різниця в хімічній структурі термореактивних зв'язуючих, широкий спектр зміцнювачів, ініціаторів затвердіння, що модифікуються домішками, використання різних наповнювачів дозволяють отримувати КМ з дуже великим діапазоном міцності, електротехнічних й інших експлуатаційних характеристик. Залежно від типу зв'язуючого, реактопласти підрозділяються на фенопласти, амінопласти, поліефірні, епоксидні, поліуретанові, кремнійорганічні і інші пластики. Примітно, що під дією тепла і хімічно активних домішок, термореактивні полімери можуть набувати просторової структури, що супроводжується втратою плинності.

Серед полімерів вирізняють також фенолальдегідні смоли (продукти взаємодії фенолів і альдегідів, найчастіше фенолу й формальдегіду). Залежно від умов отримання, кінцеві продукти розрізняються за хімічною будовою, молекулярною масою і здатністю до затвердіння. Розрізняють два види фенолформальдегідних смол – резольні (термореактивні смоли, які отримують при надлишку формальдегіду) і новолачні (термопластичні смоли, які отримують при надлишку фенолу).

У не затверділому стані фенолформальдегідні смоли представляють собою прозорі аморфні маси, що за температури 60 - 120 °С переходять в рідкий стан. Властивості резольних смол із часом змінюються, а новолачні смоли за відсутності вологи при зберіганні є незмінними.

Максимальна температура затвердіння смол коливається в діапазоні 140 - 200 °С. Продукти затвердіння смол мають некристалічну структуру і вирізняються високими характеристиками міцності, електроізоляційними й антикорозійними властивостями. Резити стійкі до дії більшості кислот, температура деструкції фенолформальдегідних смол вища 300 °С.

Переробка фенолформальдегідних смол при виробництві ПКМ передбачає просочення тканих і нетканих волокнистих наповнювачів, паперу та інших

матеріалів. Після затвердіння КМ обробляються методами прямого і литтєвого пресування, лиття під тиском, екструзії, вакуумного формування.

До основних типів полімерів належать також епоксидні смоли – мономерні, олігомерні або полімерні розчинні сполуки, до складу молекул яких входять не менше двох епоксидних груп. Виробництво епоксидних смол проводиться при конденсації в лужному середовищі епіхлоргідріна або діхлоргідріна гліцерину із сполуками, що містять рухливі атоми водню [6]. Технологія отримання матеріалів на основі епоксидних смол полягає в просочуванні волокон, тканин, паперу; засихання і обробці методами прямого пресування, контактного формування, вакуумного формування та ін. Температура переробки становить 20 - 180 °С.

Одним із найбільш широко застосовуваних полімерів є поліетилен. У промисловості випускається поліетилен низького тиску і поліетилен високого тиску. Деструкція поліетилену протікає при температурі вище 290 °С. При кімнатній температурі поліетилен стійкий до дії розбавлення сірчаної та азотної кислот, концентрованої соляної, фосфорної і плавикової кислот, має низьке водопоглинання. Поліетилен переробляється литтям під тиском, екструзією, пресуванням, добре зварюється і механічно обробляється.

Поліпропілен має високу зносостійкість і добре витримує вигин. За відсутності повітря, термодеструкція проявляється при температурі 300 °С. Поліпропілен стійкий до дії багатьох кислот і лугів. Концентрована сірчана кислота слабо руйнує поліпропілен при кімнатній температурі і катастрофічно діє при мінус 60 °С. До дії сильних окислювачів поліпропілен нестійкий. Поліпропілен переробляється литтям під тиском, екструзією, вакуумним формуванням, роздуванням, зварюванням, пресуванням, напиленням, обробляється різанням.

Полістирол – крихкий полімер, що характеризується високою радіаційною стійкістю, легко піддається старінню. Термічна деструкція починається при температурі вище 266 °С. Полістирол стійкий до дії деяких мінеральних і органічних кислот, лугів, трансформаторного масла, руйнується при

концентрованої азотної і оцтової кислоти. Технології переробки полістиролу: литтям під тиском, екструзією, вакуумне формування.

Поліаміди в нашій країні добре відомі за марками «Нейлон-7», «Нейлон-11». Їх отримують за допомогою іонної полімеризації капролактаму ($NH-CO-(CH_2)$). Для полімерів характерні висока атомна міцність, зносостійкість, ударна в'язкість, низька гігроскопічність, стабільність властивостей при підвищених температурах, різко виражена температура плавлення. Поліаміди стійкі до дії органічних розчинників. Основні способи отримання виробів з аліфатичних поліамідів – лиття під тиском і екструзія. Ароматичні поліаміди переробляються методом прямого пресування з попереднім підігрівом.

Полііміди отримуються поліконденсацією піромелітової кислоти і діамінодіфенілоксида. Фізико-механічні властивості поліімідів стабільні в широкому температурному інтервалі (від мінус 200 до плюс 300 °C). Для виробів, виготовлених із поліімідів, характерні висока стабільність розмірів, низька повзність при високих температурах, висока терmostійкість і стійкість до дії γ -випромінювання, швидких електронів і нейтронів, розбавлені кислоти на полііміди майже не впливають. Полііміди мають низький коефіцієнт тертя по сталі (0,05 - 0,17). Прес-порошки поліімідів переробляються методами прямого і компресійного пресування, лиття під тиском, гарячого пресування.

Таким чином, для більшості термопластів характерна вища продуктивність і більш інтенсивні методи переробки, формування деталей менш енергоємне, можливе формування великої, складної конфігурації деталей; можлива вторинна переробка, знижена горючість, димовиділення при горінні і токсичність продуктів горіння, висока стійкість до випромінювання, поєднання високої міцності і теплостійкості з високою ударною міцністю і тріщиностійкістю.

В промисловості застосовуються еластомери як високомолекулярні пластифікатори з метою зниження крихкості склоподібних або кристалічних полімерів. Застосування еластомерів в складі ПКМ ускладнене зниженим опором теплового старіння і термоокисленої деструкції. Крім того, підвищена липкість, деформованість еластомерів зазвичай не дозволяють випускати їх в

гранульованому вигляді (лише деякі еластomersи доступні сьогодні в вигляді гранул), що також ускладнює їх використання. Проте, застосування еластомерів як компонентів сумішевих композиційних матеріалів (в тому числі конструкційних) безперервно розширюється.

3) Керамічні матриці. На сьогодні існує два види кераміки – звичайна й технічна.

До складу звичайної кераміки входять силікати (SiO_2), звідси – назва промисловості, що її випускає – силікатна. У техніці використовується кераміка спеціального призначення (технічна кераміка), до складу якої входять різні оксиди, карбіди, нітриди, бориди, силіциди, сульфід.

У деяких випадках промисловці вдаються до розробки кераміки змішаного типу. Наприклад, на основі двох типів кераміки – іонної оксидної AlO_3 і ковалентної безкисневої Si_3N , створений ефективний матеріал – сіалон (загальна формула $Si_{6-x}Al_xN_{8-x}O_x$), з якого виготовляють дослідні зразки блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання, газотурбінних лопаток.

Інколи до класу керамічних матеріалів умовно зараховують і керамікометалічні матеріали типу оксиду алюмінію, так звані кермети. Крім оксиду алюмінію, використовують оксиди магнію, берилію, титану, цирконію, хрому та інших елементів. Металевими складовими слугують нікель, кобальт, залізо, деякі металеві сплави. Іноді під керамікою розуміють тверду речовину, що характеризується неметалевою природою зв'язку і неpolімерною структурою, тобто керамікою є все, що не є металом і полімером.

За функціональним призначенням розрізняють механо-, термо-, електро-, магнето-, опто-, хімо-, біо-, ядерну та надпровідну кераміку. Основними характеристиками механокераміки є: твердість, міцність, модуль пружності, в'язкість руйнування, зносостійкість, коефіцієнт лінійного термічного розширення, термостійкість. Забезпечують ці властивості такі сполуки, як-от: Si_3N_4 , ZrO_2 , SiC , TiB_2 , ZrB_2 , TiC , TiN , WC , B_4C , Al_2O_3 , BN . Термічна кераміка вирізняється жароміцністю, жаростійкістю й вогнетривкістю [7]. Для отримання

кераміки використовують сполуки: SiC , TiC , B_4C , TiB_2 , ZrB_2 , Si_3N_4 , BeS , CeS , BeO , MgO , ZrO_2 , Al_2O_3 , TiO .

У промисловості успішно застосовуються такі керамічні матеріали: карбід кремнію (для захисту графіту від окиснення, при виробництві вкладок сопел порохових і деяких рідкореактивних двигунів), карбід титану (для виготовлення деталей реактивної і атомної техніки), нітрид бору (при виробництві обтічників антен і електронного обладнання літальних апаратів).

Серед переваг керамічних матеріалів слід зазначити: високі температури плавлення, висока міцність в умовах дії стискаючих напруг, хімічна стійкість в агресивних середовищах. До сучасних керамічних матеріалів конструкційного призначення висуваються й інші вимоги: забезпечення високих характеристик міцності, підвищеної ударної в'язкості й інших властивостей, характерних для металевих конструкційних матеріалів.

Основним недоліком конструкційної кераміки, що заважає її широкому поширенню як конструкційному матеріалу, є низький рівень тріщиностійкості (в'язкості руйнування). Низька тріщиностійкість кераміки обумовлена високою міцністю хімічних зв'язків, характерних для неї. Матеріали з нековалентним типом зв'язку, як правило, є міцними і крихкими.

Ученим вдалося створити композиційні матеріали з комбінованими матрицями, які складаються з двох і більше різних за хімічним складом шарів. КМ з комбінованими матрицями називаються поліматричними. Для них характерний ширший перелік корисних властивостей.

У матриці рівномірно розподілені наповнювачі, які називаються ще зміцнювачами, оскільки вони відіграють основне значення в підвищенні міцності матеріалу. Наповнювачі ще називають армуючими компонентами.

Властивості КМ залежать від форми або геометрії, розміру, кількості і характеру розподілу наповнювача. За формою, наповнювачі поділяють на три основні групи (рис. 1.3): нуль вимірні, одновимірні, двовимірні.

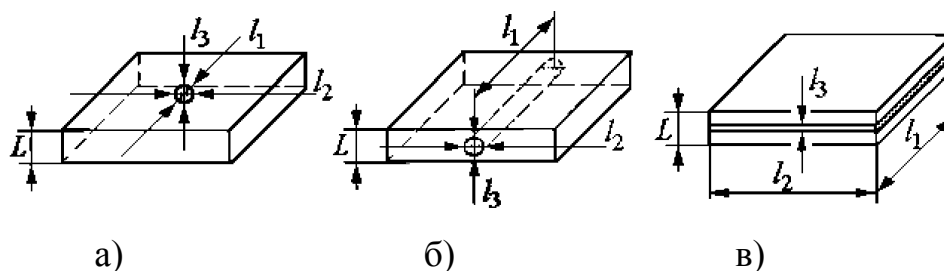


Рис. 1.3. Форми наповнювачів: а - нуль вимірні; б - одновимірні; в - двовимірні;
 l_1, l_2, l_3 – розміри наповнювача; L - товщина матриці [8, с.6]

За формою наповнювача, КМ поділяють на дисперсно-зміцнені, волокнисті й шаруваті. Дисперсно-зміцненими називають КМ, зміцнені нуль вимірними наповнювачами, волокнисті КМ зміцнюються одновимірними наповнювачами, шаруваті КМ зміцнюються двовимірними наповнювачами.

За схемою армування, (рис. 1.4) волокнисті КМ поділяють на три групи: з одновісним, двовісним і тривісним армуванням. При одновісному армуванні вміст наповнювача становить 1 - 5 %, при двовісному – 15 - 16 %, при тривісному – більше 15 %. У шаруватих КМ в якості наповнювача застосовують плоскі аркуші паперу, тканини або азбесту.

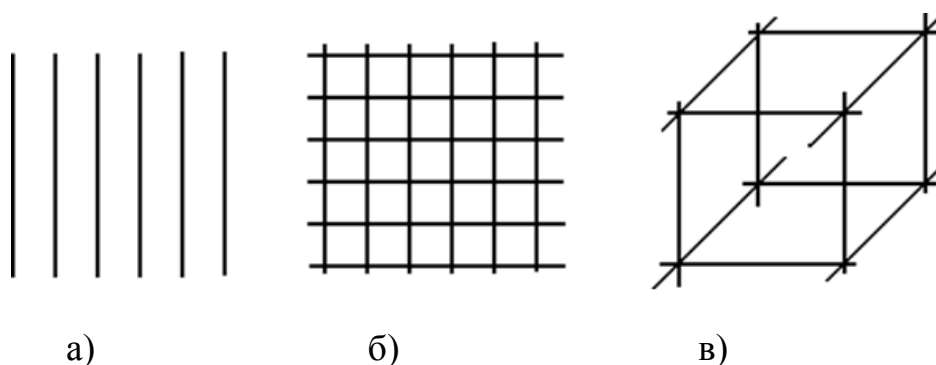


Рис.1.4. Схеми армування:

а – одновісна; б – двовісна; в – тривісна [8, с.6]

Для розширення комплексу властивостей або посилення певної характеристики, можуть бути використані одночасно наповнювачі різної форми або наповнювачі однієї форми, але різного складу. КМ, які містять два і більше різних наповнювачі, називають поліармованими.

У дисперсно-зміцнених матеріалах основним елементом є матриця, яка несе навантаження. Дисперсні частинки (рис. 1.5) гальмують в металі рух дислокацій, збільшуючи його міцність за нормальної й підвищеної температури. Перевагою таких матеріалів, на відміну від волокнистих, є ізотропність властивостей.

Висока міцність досягається при розмірі частинок зміцнення 0,01 - 0,1 мкм. Об'ємний вміст частинок залежить від схеми армування, але, зазвичай, не перевищує 5 -10 об'ємних відсотків.

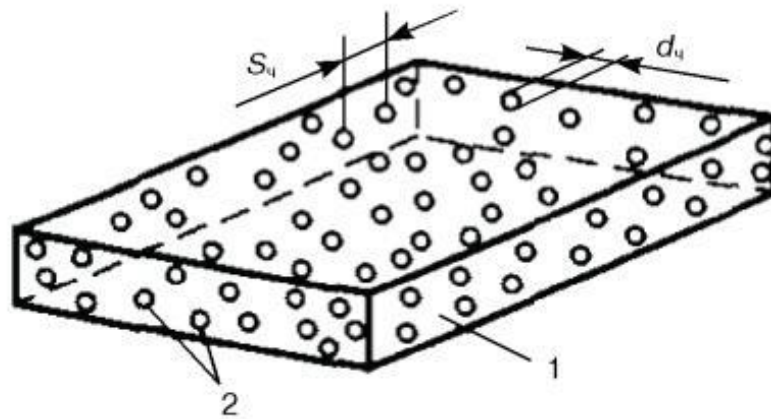


Рис. 1.5. КМ з армуючими частинками: 1 - матриця; 2 - армуючі частинки діаметром $d_{\text{ч}}$; $S_{\text{ч}}$ - відстань між частинками [9]

Як зміцнюючі фази, використовуються частинки тугоплавких фаз – оксидів, нітридів, боридів, карбідів (Al_2O_3 , SiO_2 , BN , SiC). Дисперсно-зміцнені КМ виготовляють порошковою металургією або додаванням наповнювачів у рідкий метал перед розливанням. Найширшого застосування серед усіх дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів, мають КМ на основі алюмінію і нікелю. Матеріали на основі алюмінію називаються спеченим алюмінієвим порошком (САП) і складаються з алюмінію і домішок Al_2O_3 (в кількості до 18 %). Матеріал САП (табл. 1.1) характеризується високою міцністю, жароміцністю, корозійною стійкістю й термічною стабільністю властивостей. Зі збільшенням вмісту окису алюмінію підвищується міцність, твердість, жароміцність, і зменшується пластичність. З САП виготовляють поршневі штоки, лопатки компресорів, лопаті вентиляторів і турбін, обмотки трансформаторів.

У матеріалах на основі нікелю в якості матриці використовують нікель і його сплави з хромом (до 20 %) зі структурою твердих розчинів. Частинки оксидів торію і гафнію слугують зміцнювачами.

Найбільше зміцнення досягається при вмісті 3,5-4 % окису гафнію: $\sigma_B = 75-850$ МПа, $\delta = 8 - 12$ %.

У шаруватих пластиках наповнювач знаходиться у вигляді листів чи тканин. До шаруватих КМ належать біметали, що мають в складі два різних види металу з дуже різними коефіцієнтами лінійного розширення α -шар, β -шар (рис. 1.6.). При зміні температури біметали деформуються, і цю деформацію можна точно визначати. Така особливість біметалів дає змогу використовувати їх для виробництва вимірювальних приладів. Так, алюміній і деякі високоміцні алюмінієві сплави мають низьку корозійну стійкість, тому високоміцний алюміній, покритий корозійним алюмінієвим сплавом, характеризується одночасно високою міцністю і корозійною стійкістю. До шаруватих КМ відносять також шарувате скло і ламінати на основі пластиків.

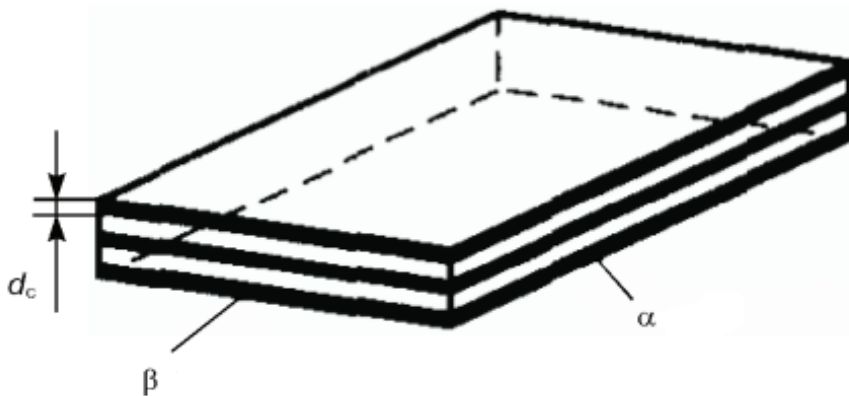


Рисунок. 1.6. - Шаруватий композит: d_c - товщина шару в шаруватому α - β композити [9]

Дерево-шаруваті пластики (ДШП) складаються з деревної шпони, просоченої фенолформальдегідною і крезолформальдегідною смолами. ДШП мають високі фізико-механічні властивості, вирізняються низьким коефіцієнтом тертя. Недоліком є чутливість ДШП до вологи. Одним із ДШП є гетинакс, який складається з паперу, просоченого смолами (фенолформальдегідом). Гетинакс

відрізняється високими електроізоляційними властивостями й механічною міцністю, але за своїми характеристиками поступається текстолітам.

Текстоліти мають тканину в якості наповнювача, а просочення здійснюється фенолформальдегідною, кремнійорганічною або епоксидною смолою в залежності від необхідного рівня властивостей матеріалу. Текстоліти бувають кількох видів. Так, конструкційні текстоліти (наповнювач – бавовняна або синтетична тканина, просочена фенолформальдегідною смолою). Такі матеріали мають низький коефіцієнт тертя, високу стійкість, працюють в трансформаторному маслі за температур від -60°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Азбестотекстоліт містить до 43 % зв'язуючого, решту становить азбестова тканина. Цей матеріал відрізняється теплостійкістю до 300°C і механічною міцністю. Азбестотекстоліт застосовують як конструкційний, фрикційний і термоізоляційний матеріал, який витримує температуру $250 - 500^{\circ}\text{C}$ протягом 1 - 4 годин, а короткочасно – 3000°C і вище. З азбестотекстоліта виробляють лопатки ротаційних бензонасосів і гальмівні колодки. Склотекстоліт має в якості наповнювача скляні тканини, а зв'язуючим є фенолформальдегідні, кремнійорганічні й епоксидні смоли. Склотекстоліт має високу теплостійкість, морозостійкість, стійкість до окислювача й інших хімічних реагентів.

Волокнисті КМ (рис. 1.7) мають найчастіше пластичну матрицю, армовану високоміцними волокнами, дротом або кристалами у формі ниток.. Волокна забезпечують міцність і жорсткість КМ у напрямку розташування волокон. Механічні властивості і механізм руйнування КМ визначаються співвідношенням трьох параметрів:

- 1) міцністю волокон;
- 2) міцністю і жорсткістю матриці;
- 3) міцністю зв'язку «волокно – матриця».

ВКМ можна класифікувати за природою компонентів і за типом наповнювача, а також за їх розташуванням у матриці.

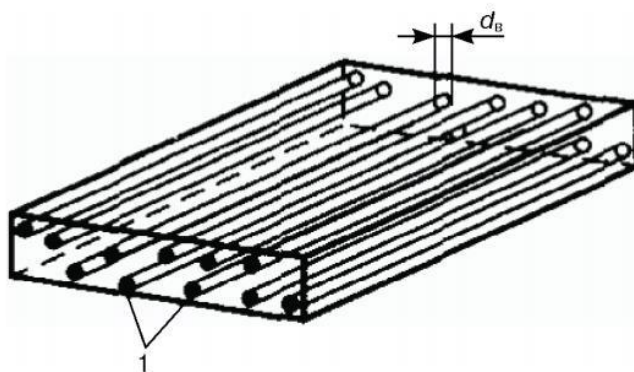


Рисунок. 1.7. - Волокнистий композиційний матеріал: 1 - волокна в матриці, d_v - діаметр волокна [9]

Волокна довжиною 0,2 - 14 мм (короткі волокна) використовують для отримання конструкційних ливарних і екструзійних термопластичних матеріалів, довжиною не більше 1 - 2 мм. Волокна довжиною від 15 до 70 мм (довгі волокна) застосовують для отримання прес-матеріалів (волокнітів і преміксів на основі фенолформальдегідних і поліефірних смол).

Основні види волокон (вуглецеві й скляні) виготовляють круглого перетину діаметром 8 - 20 мкм, а також трикутного, ромбічного та інших форм. Оптимальне значення діаметра волокна d_{opt} залежить від його природи і полімерної матриці, а також від методу формування і розмірів виробу.

Значення параметра для безперервних волокон можна збільшити, використовуючи волокна різних діаметрів (щільні склади) і перетинів (трикутні, квадратні, ромбічні). Полімерні та металеві волокна ущільнюються під тиском, перепрофілюються, і значення може досягати 1.

Волокнисті наповнювачі отримують з металу, кераміки, полімерів. Найбільшого поширення для створення ПКМ отримали скляні, вуглецеві, борні й органічні волокна.

Таким чином, за природою матриці, серед КМ виділяють композиційні матеріали на основі полімерів або так званих пластиків; металів і їх сплавів; кераміки; вуглецю. За природою арматури, КМ мають наступну класифікацію: склопластики, вуглепластики, боропластики, органопластики, полімери, наповнені порошками.

1.4. Переваги та недоліки КМ

1.4.1. Переваги

Композиційні матеріали мають значні переваги перед металом:

- Зниження ваги – часто вказується економія в діапазоні від 20% до 50%;
- Легко збирати складні компоненти, використовуючи автоматичне обладнання для укладання і процеси ротаційного формування;
- Монококові формовані конструкції забезпечують вищу міцність при набагато меншій вазі;
- Механічні властивості можуть бути адаптовані за допомогою «накладної» конструкції з товщиною армуючої тканини і орієнтацією тканини, які зменшуються;
- Термічна стабільність композиційних матеріалів означає, що вони надмірно не розширюються (не стискаються) при зміні температури;
- Висока ударостійкість;
- Висока стійкість до пошкоджень покращує виживаність при аваріях;
- Проблема втоми і корозії практично відсутня;
- Оскільки композиційні матеріали складаються з матриці, армованої волокном, у них рідко виникають великі тріщини;

1.4.2. Недоліки

Крім низки позитивних властивостей, зазначених вище, композиційні матеріали (КМ) ще мають досить велику кількість недоліків, які стримують їх поширення і обмежують застосування. Так, їхня висока вартість обумовлена високою наукоємністю виробництва, необхідністю застосування спеціального дорогого устаткування і сировини, а, отже, розвиненого промислового виробництва та наукової бази країни.

Крім того, слід зазначити, що КМ здатні до анізотропії, тобто властивості композитного матеріалу змінюються від зразка до зразка. З метою компенсації

анізотропії збільшують коефіцієнт запасу міцності, що може нівелювати перевагу КМ у питомій міцності. Таким прикладом може служити досвід застосування КМ при виготовленні вертикального оперення винищувача МіГ-29. Через анізотропію КМ, що застосовувався при виготовленні, вертикальне оперення було спроектовано з коефіцієнтом запасу міцності кратно переважаючим стандартний в авіації коефіцієнт 1,5, що в підсумку призвело до того, що композитне вертикальне оперення МіГ-29 дорівнювало по вазі конструкції класичного вертикального оперення, зробленого з дюралюмінію.

Низька ударна в'язкість також є причиною підвищення коефіцієнта запасу міцності. Крім цього, низька ударна в'язкість обумовлює високу пошкоджуваність виробів із КМ, високу ймовірність виникнення прихованих дефектів, які можуть бути виявлені тільки інструментальними методами контролю.

Високий питомий об'єм є істотним недоліком при застосуванні КМ у сферах із жорсткими обмеженнями по займаному об'єму. Це стосується, наприклад, надзвукових літаків, у яких навіть незначне збільшення об'єму літака призводить до істотного зростання хвильового аеродинамічного опору.

На додаток до всього, при експлуатації КМ можуть виділяти пари, які часто є токсичними. Якщо з КМ виготовляють вироби, які будуть розташовуватися в безпосередній близькості від людини (таким прикладом може послужити композитний фюзеляж літака Boeing 787 Dreamliner), то для схвалення КМ, що будуть застосовуватися при виготовленні, потрібні додаткові дослідження впливу компонентів КМ на людину.

Ще одним недоліком КМ є їхня низька експлуатаційна технологічність, що також супроводжується низькою ремонтпридатністю і високою вартістю експлуатації. Це пов'язане із необхідністю застосування спеціальних трудомістких методів, спеціальних інструментів для доопрацювання і ремонту об'єктів із КМ. Часто об'єкти із КМ взагалі не підлягають будь-якому доопрацюванню і ремонту.

Висновки до розділу

Серед нових матеріалів, що використовуються в сучасній авіації, особливе значення мають композиційні матеріали, які являють собою штучно створений неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, окремих волокон або інших складових та матриці, що їх сполучає, з чіткою межею розділу між ними. За своїми характеристиками КМ відрізняються від властивостей його складових. Компоненти КМ не розчиняються чи поглинають одне одного, вони добре сумісні між собою.

Композиційні матеріали характеризуються низкою різноманітних властивостей, раціональне поєднання яких дозволяє виготовляти оптимальні авіаційні конструкції. Унікальні властивості КМ збільшують міцність деталей, знижують їх вагу й схильність до корозії, а також дозволяють скоротити кількість деталей.

2. Розробка алгоритму вибору конструктивних параметрів панелі крила

Розвиток авіаційної техніки і поява нових матеріалів привели до широкого поширення конструкцій з різноманітними наповнювачами. Такі конструкції мають високі параметри жорсткості й питомої міцності, звуко- й віброізоляційні властивості.

Сучасні композиційні матеріали мають не тільки широкий спектр механічних, фізичних і хімічних властивостей, а й здатність до спрямованої їх зміни відповідно до призначення конструкції. Анізотропний характер властивостей композитів означає, що в одних випадках вони мають високі механічні характеристики, а в інших – низькі. Тому ефективна реалізація переваг цих матеріалів у конструкціях вимагає вирішення комплексу завдань, пов'язаних із вибором взаємно узгоджених вихідних компонентів, з визначенням раціональної структури матеріалу, що відповідає полю зовнішніх навантажень та інших впливів, з урахуванням його особливостей і технологічних обмежень.

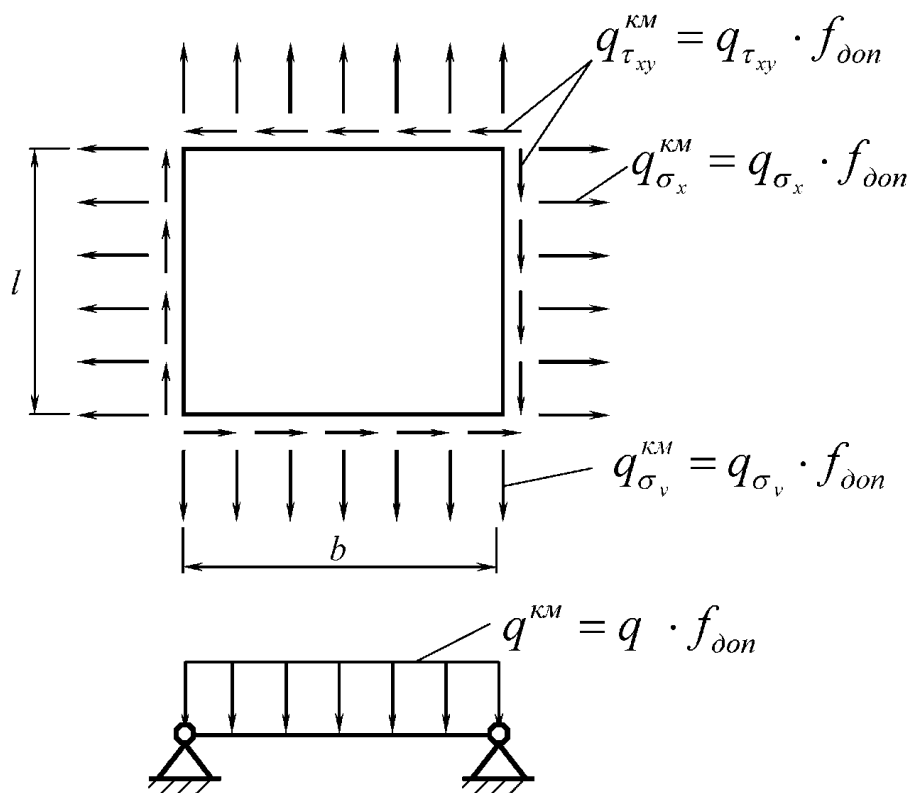


Рис. 2.1. Схема навантаження панелі

Паспортними даними композиційного матеріалу за нормальної і експлуатаційної температури і вологості є:

σ_B^0 – межа міцності при розтягуванні вздовж напрямку 0° , кг/мм;

σ_{-B}^0 – межа міцності при стисненні вздовж напрямку 0° , кг/мм;

$\tau_{0,90}$ – межа міцності при зсуві вздовж напрямків 0° і 90° , кг/мм;

$\tau_{\pm 45}$ – межа міцності при зсуві вздовж напрямків 0° і 90° , кг/мм;

E_ϵ – модуль пружності при розтягуванні (стисканні) вздовж напрямку 0° , кг/мм;

$G_{0,90}$ – модуль зсуву вздовж напрямків 0° і 90° , кг/мм;

μ – коефіцієнт Пуассона (для всіх матеріалів прийняти $\mu = 0,265$);

δ^1 – товщина моношару (одного шару), мм;

γ – питома вага, г/см³.

Таблиця 2.1. Характеристики КМ.

Марка матеріалу	γ	σ_B^0	σ_{-B}^0	E_ϵ	$G_{0,90}$	$\tau_{0,90}$	δ^1
	г/см ³	кгс/мм	кгс/мм	кгс/мм	кгс/мм	кгс/мм	мм
КМУ-3ЛП	1,5	75	60	15000	550	2	0,10
КМУ-3Е	1,5	90	80	13500	550	4	0,12
КМУ-3К	1,5	90	30	27000	514	5	0,08
КМУ-3	1,5	110	45	19000	514	7	0,30
КМУ-4Л	1,5	70	60	13500	570	2	0,10
КМУ-4Е	1,5	85	90	9000	610	5	0,12
КМУ-2ЛП	1,4	65	65	12000	550	2	0,10

Таблиця 2.2. Особливості КМ.

Марка матеріалу	Тип і марка наповнювача	Марка зв'язуючого	Режим полімеризації	Інтервал робочих температур
КМУ-3 Л П	Вуглестрічка ЛУ-П-0,1 ЛУ-П-0,2	5-2ПБ	150±5°C (4години)	-60...+80°C
КМУ-3 Е	Вуглестрічка ЭЛУР-П-01	5-2ПБ	150±5°C (4 години)	-60...+80°C
КМУ-3К	Вуглестрічка КУЛОН-П	5-211Б	150±5°C (4 години)	-60...+80°C
КМУ-3	Вуглеволокно ВМН-4	5-211Б	150±5°C 180±5°C 200±5°C (4	-60...+100°C - 60...+120°C -

			години)	60...+150°C
КМУ-4Л	Вуглестрічка ЛУ-П-0,1 ЛУ-П-0,2	ЕНФБ	160±5°C (6 годин)	-60...+150°C
КМУ-4Э	Вуглестрічка ЕЛУР-П-01	ЕНФБ	175±5°C (6 годин)	-60...+150°C
КМУ-2ЛП	Вуглестрічка ЛУ-П-0,1	СП-97	200±5°C (2 години) 250±5°C (5 годин)	-60...+300°C
КМУ-6-41	Вуглестрічка ЛУ-П-0,1	ВК-41	120±5°C (4 години.)	-60...+80°C

2.1. Алгоритм виконання

Вирішення завдання виконується за такими етапами:

1. Постановка завдання і вихідні дані. До вихідних даних належать: ескіз деталі з необхідними розмірами, марка матеріалу і його фізичні характеристики.
2. Розрахунок необхідної кількості шарів у обшивці з орієнтацією 0° , $\pm 45^\circ$, 90° в залежності від діючих навантажень.
3. Вибір стільникового заповнювача і розрахунок його висоти.
4. Уточнення діючого навантаження і розрахунок відповідно до уточненого навантаження.
5. Перевірочний розрахунок конструкції.

2.2. Вибір навантажень на панель

Таблиця 2.3. Внутрішні силові фактори.

b_i , м	Q, кг	$M_{из}$, кг/м	$M_{кр}$, кг/м
1,45	1665,346	321,207	740,9314
1,65	6317,776	1039,88	1702,75
1,85	11527,38	2199,56	2914,39
2,05	17294,17	3846,75	4404,785
2,25	23618,13	6024	6202,871
2,45	30499,26	8779,83	8337,582
2,65	37937,57	12154,8	10837,85
2,85	45933,06	16196,3	13732,62
3,05	54485,73	20942,4	17050,81
3,25	63412,57	26428,8	20523,99
3,45	72896,59	32701,2	24460,17

2.3. Вказівки до виконання розрахунку

2.3.1. Особливості проектування панелей з композиційних матеріалів

Сучасні волокнисті полімерні композиційні матеріали (ПКМ), до яких належать вугле-, скло й органопластики, є анізотропними матеріалами. Ця відмінність дає можливість регулювати механічні характеристики проєктованих конструкцій за рахунок зміни орієнтації при укладанні волокон армуючих елементів. У свою чергу, така особливість вимагає враховувати її при розрахунках і проектуванні.

При формуванні розрахункових навантажень необхідно виходити з умов навантаження і умов експлуатації, а також із існуючої нестабільності несучих властивостей конструкцій з композиційних матеріалів. Тому, розрахункові навантаження повинні визначатися за відповідними їм параметрами навколишнього середовища, а статичний розрахунок конструкції необхідно проводити, використовуючи паспортні дані, що відповідають конкретним умовам експлуатації, а також слід враховувати зниження механічних характеристик виробів із ПКМ з часом.

Крім того, відповідно до АП, для силових частин, вузлів, деталей і елементів конструкції літака, виконаних із композиційних матеріалів, вводиться додатковий коефіцієнт безпеки $f_{\text{дод}}$. Величина додаткового коефіцієнта безпеки визначається в залежності від діапазону несучих властивостей даних конструкцій. Для розрахунків узято $f_{\text{дод}}$ рівний 1,25.

2.3.2. Визначення необхідної кількості шарів ПКМ

Властивості ПКМ залежать від напрямку, тому, передусім необхідно вказати вісі, щодо напрямку яких буде визначатися орієнтація основи композиційного матеріалу або основи тканини. Графічно це має виглядати наступним чином (рис. 3.2):

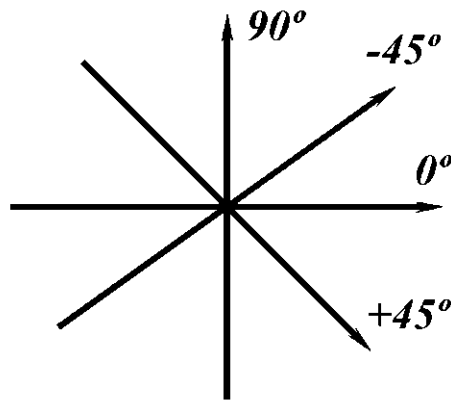


Рис. 2.2. Позначення орієнтації вісей для КМ на кресленні

У більшості випадків напрямок осі 0° збігається з вісями літака (X, Y, Z) або з напрямком максимального навантаження. У будь-якому випадку, на полі креслення необхідно вказувати напрямок вісей і напрямок, відповідний напрямку осі 0° (паралельно осі лонжерона, балки, будівельної горизонталі, уздовж довгої сторони деталі і т.ін.). Додатніми вважаються кути, відраховані за годинниковою стрілкою від напрямку 0° .

Визначення товщини композиційного матеріалу δ в напрямках $0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ$ проводиться за наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} \delta^{0^\circ} &= \frac{q_{\sigma_x}^{KM}}{\sigma_e}, \text{ мм}; \\ \delta^{90^\circ} &= \frac{q_{\sigma_y}^{KM}}{\sigma_e}, \text{ мм}; \\ \delta^{\pm 45^\circ} &= \frac{q_{\tau_{xy}}^{KM}}{\tau_{\pm 45^\circ}}, \text{ мм}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Кількість шарів композиційного матеріалу для кожного напрямку укладання визначається виходячи з необхідної товщини матеріалу і товщини моношару δ^1 (2) і округлюються до цілого числа в більшу сторону, а для шарів з орієнтацією ± 45 в більшу сторону до найближчого парного числа:

$$\left. \begin{aligned} n_{сл}^0 &= \frac{\delta^0}{\delta^1}; \\ n_{сл}^{90} &= \frac{\delta^{90}}{\delta^1}; \\ n_{сл}^{\pm 45} &= \frac{\delta^{\pm 45}}{\delta^1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

2.3.3. Формування пакета

Далі необхідно спроектувати схему укладання пакета. Передусім, потрібно ввести спосіб позначення шарів. Найбільш технологічно зручним варіантом є нумерація шарів, починаючи від оснащення: спочатку укладається шар №1, далі №2 і т.ін. (див. рис. 3.3). У разі товстих пакетів раціональніше вказувати на кресленні номер шару, а орієнтацію зображати в окремій таблиці на кресленні.

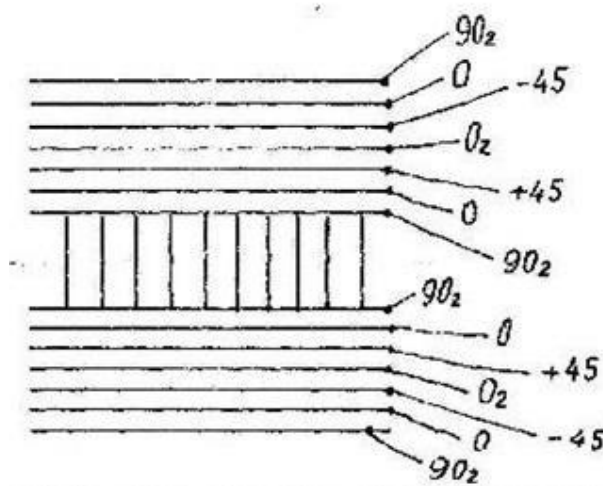


Рис. 2.3. Схема викладки шарів (без нумерації).

Наступними технологічними проблемами є зіступ і зрушення деталей під час обробки. На зіступ впливають головним чином два чинники – зіступ зв'язуючого і різниця коефіцієнтів теплового розширення зібраного пакета і оснастки. При цьому необхідно враховувати той факт, що армуючі матеріали

мають різні коефіцієнти теплового розширення в поздовжньому і поперечному напрямку. Зіступ усувають за допомогою введення поправок на розміри і, застосовуючи в оснащенні матеріали з малим коефіцієнтом теплового розширення. Зрушення можна мінімізувати, якщо спроектувати збалансований зіступ [19]:

1. Необхідне дотримання принципу симетрії розташування шарів, тобто кількість, орієнтація і розташування шарів відносно нейтральної осі обшивки повинні бути однакові. Наприклад, для парної кількості шарів може бути схема $0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, -45^\circ \mid -45^\circ, +45^\circ, 90^\circ, 0^\circ$, де вертикальна риска (|) позначає нейтральну вісь; для непарної кількості шарів може бути схема $0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, -45^\circ, 0^\circ, -45^\circ, +45^\circ, 90^\circ, 0^\circ$, де риска над шаром 0° вказує на те, що даний шар розташовується на осі симетрії. Наведені приклади належать до обшивки з кількістю шарів $\pm 45^\circ$ кратним 4.

2. Для обшивки з кількістю шарів $\pm 45^\circ$ кратним 2 немає можливості дотриматися повної симетрії, тому для зменшення негативного впливу несиметрії (при несиметрії обшивки можуть «закрутитися») необхідно одну пару шарів із різними знаками розташовувати близько осі симетрії, наприклад, мати схему $0^\circ, 90^\circ, +45^\circ \mid -45^\circ, 90^\circ, 0^\circ$ або $0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ, +45^\circ \mid -45^\circ, -45^\circ, 90^\circ, +45^\circ, 0^\circ$. У всіх випадках необхідно дотримуватися умови, щоб кількість шарів із орієнтацією $+45^\circ$ дорівнювала кількості шарів із орієнтацією -45° , оскільки ці шари працюють на зрушення при одночасному розтягуванні-стисненні по протилежним діагоналям.

3. При виготовленні обшивки методом викладки розташування шарів із орієнтацією 45° може бути різним. Наприклад, коли шари $\pm 45^\circ$ розташовуються разом: $0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, -45^\circ \mid -45^\circ, +45^\circ, 90^\circ, 0^\circ$ або коли між шарами $+45^\circ$ і -45° розташовується шар 90° : $0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ \mid -45^\circ, 90^\circ, +45^\circ, 0^\circ$. Друга схема є кращою у порівнянні з першою, оскільки між шарами 0° і 90° розташовується шар $+45^\circ$, що позначається на зменшенні залишкових термічних (зіступних) напружень між шарами, які є максимальними при контакті шарів 0° і 90° .

4. При виготовленні стільникової конструкції з обшивками з ПКМ методом сумісного формування (при цьому обидві «сирі» обшивки одночасно формуються і полімеризуються на стільниковому заповнювачі) у випадках, коли за кількістю шарів і їх орієнтації немає можливості дотриматися симетрії кожної із обшивок, що складаються з 4-х - 5-ти шарів, необхідно суворо дотримуватися конструктивної симетрії, наприклад (рис. 3.4.):

$$\underbrace{+45^{\circ}, 0^{\circ}, 90^{\circ}, -45^{\circ}}_{\text{первая обшивка}} \text{ соты } \underbrace{-45^{\circ}, 90^{\circ}, 0^{\circ}, +45^{\circ}}_{\text{вторая обшивка}}$$

Рис. 2.4. Орієнтація шарів у пакеті зі стільниковим заповнювачем або
 $+45^{\circ}, 0^{\circ}, 90^{\circ}, 0^{\circ}, -45^{\circ}$ стільники $-45^{\circ}, 0^{\circ}, 90^{\circ}, 0^{\circ}, +45^{\circ}$.

Дана умова була перевірена на практиці, і зрушень конструкції не спостерігалось, хоча окремо кожна з обшивок є різко несиметричною. Обов'язковою умовою є чітке оформлення креслення, в якому необхідно вказати схему з симетричним розташуванням шарів обшивок щодо стільникового заповнювача.

5. При виготовленні стільникових конструкцій методом сумісного формування, необхідно шари з орієнтацією 0° , тобто шари, що визначають міцність в напрямку дії максимальних зусиль, розташовувати не безпосередньо на стільниковому заповнювачі, а всередині пакету (3-й шар і глибше). Наприклад, замість схеми укладання $0^{\circ}, +45^{\circ}, 90^{\circ}, -45^{\circ}, -45^{\circ}, 90^{\circ}, +45^{\circ}, 0^{\circ}$, коли шар 0° контактує зі стільниковим заповнювачем, пакет укладають із шарів, розташованих в напрямку до поздовжньої осі панелі і з шарів 90° в кількості 10-20%, необхідних для сприйняття зусиль по хорді кесона і створення необхідної жорсткості обшивки. Крім того, за вимогами живучості, в обшивці необхідно застосовувати стопери, що обмежують поширення тріщин. Стоперами можуть слугувати поздовжні шари обшивки, сконцентровані в місцях постановки стрингерів.

Полиці стрингерів повинні мати переважну кількість шарів, розташованих уздовж. Однак, для зв'язку цих шарів між собою та для створення монолітності матеріалу полиць, потрібна певна кількість шарів (10-30%), розташованих під кутами -45° . Ці ж шари необхідні для забезпечення достатньої величини критичної напруги вільних полиць. Стінки стрингерів доцільно армувати під кутами -45° і невеликою кількістю шарів (10-20%) під кутом 90° .

Для стільникових конструкцій, які мають дві обшивки, кількість шарів у обшивці має бути зміненою, виходячи з того, що обидві обшивки повинні мати однакову кількість шарів (див. рис. 3.5). При проектуванні конструкцій, що виготовляються за сумісною технологією, шари з 0° (тобто шари, розташовувані в напрямку дії максимального навантаження) необхідно розташовувати всередині пакета, а не виносити їх на контакт із стільниками. Краще за все, якщо із стільниками буде контактувати шар 90° .

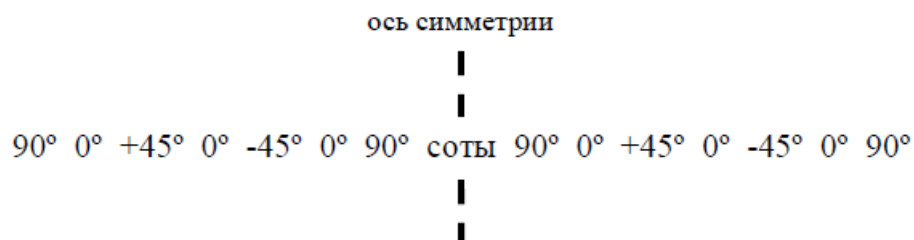


Рис. 2.5. Схема укладання шарів ПКМ з урахуванням стільникового заповнювача

Наявність в наведеному прикладі несиметричних обшивок для стільникових конструкцій при дотриманні конструктивної симетрії (вісь симетрії розташовується в середині стільників) можлива в тому випадку, якщо дана конструкція виготовляється за сумісною технологією, тобто, коли процес полімеризації обох обшивок і склеювання їх із стільниковим наповнювачем відбуваються одночасно. В цьому випадку зрушень виготовленої конструкції не відбуватиметься. Якщо одна з несиметричних обшивок на збірку поставляється в затверділому стані, то не тільки вона буде мати зрушення, а й вся конструкція

буде зазнавати неусувних відхилень від поверхні оснащення, які можуть бути значними.

В даному випадку проявляється вплив технології виготовлення на якість конструкції і на конструкцію в цілому. Якщо вибирається традиційна технологія, за якої на збірку поставляються обидві обшивки затверділими, а потім проводиться їх склеювання зі стільниковим заповнювачем, обшивки повинні складатися з суворо симетрично розташованих шарів, що призведе до їх збільшення, а, отже, до збільшення ваги і вартості конструкції.

2.3.4. Визначення механічних характеристик пакета

Для визначення механічних характеристик укладання зі змішаною орієнтацією (0° , $\pm 45^\circ$, 90°) й розрахунку характеристик пакета для напрямків X , Y , σ_{ϵ_x} , σ_{ϵ_y} , E_{ϵ_x} , E_{ϵ_y} можна скористатися наступними формулами [20]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\epsilon_x}^{KM} &= K_y^x \cdot \sigma_{\epsilon}^0, \text{кг/мм}^2; \\ \sigma_{\epsilon_y}^{KM} &= K_y^y \cdot \sigma_{\epsilon}^0, \text{кг/мм}^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} E_{\epsilon_x}^{KM} &= K_y^x \cdot E_{\epsilon}^0, \text{кг/мм}^2; \\ E_{\epsilon_y}^{KM} &= K_y^y \cdot E_{\epsilon}^0, \text{кг/мм}^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $K_y^{x,y}$ - коефіцієнти укладання для напрямків X , Y відповідно:

$$\left. \begin{aligned} K_y^x &= \frac{n_0}{n} + 0,25 \frac{n_{45}}{n} \\ K_y^{x,y} &= \frac{n_{90}}{n} + 0,25 \frac{n_{45}}{n} \end{aligned} \right\}$$

де n_0 - кількість шарів орієнтації 0° ;

n_{90} - кількість шарів орієнтації 90° ;

n - сумарна кількість шарів.

Для визначення τ_b можна використовувати правило суміші:

$$\tau_{\theta_{xy}} = \frac{(n_0 + n_{90})}{n} \cdot \tau_{0,90} + \frac{n_{45}}{n} \tau_{45}, \text{ кг/мм}^2 \quad (5)$$

де n_{45} - кількість шарів з орієнтацією $\pm 45^\circ$;

τ_{45} - межа міцності укладання $\pm 45^\circ$, для матеріалів КМУ $\tau_{45} = 29 \text{ кг/мм}^2$.

2.3.5. Визначення діючих напружень в пакеті

Товщина пакета визначається за формулою:

$$\delta^{KM} = \delta^1 \cdot n, \text{ мм} \quad (6)$$

Діючі напруження визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^{KM} &= \frac{q_{\sigma_x}^{KM}}{\delta^{KM}}, \text{ кг/мм}^2; \\ \sigma_y^{KM} &= \frac{q_{\sigma_y}^{KM}}{\delta^{KM}}, \text{ кг/мм}^2; \\ \tau_{xy}^{KM} &= \frac{q_{\tau_{xy}}^{KM}}{\delta^{KM}}, \text{ кг/мм}^2; \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Далі необхідно визначити граничний стан пакета за дією комбінованих навантажень за критерієм Цзя-Хілла для випадку плоского напруженого стану [19]:

$$\left[\frac{\sigma_x^{KM}}{[\sigma_{\theta_x}^{KM}]} \right]^2 - \frac{\sigma_x^{KM} \cdot \sigma_y^{KM}}{[\sigma_{\theta_x}^{KM}]^2} + \left[\frac{\sigma_y^{KM}}{\sigma_{\theta_y}^{KM}} \right]^2 + \left[\frac{\tau_{xy}^{KM}}{\tau_{\theta_{xy}}^{KM}} \right]^2 \leq 1 \quad (8)$$

2.3.6. Вибір висоти стільникового заповнювача

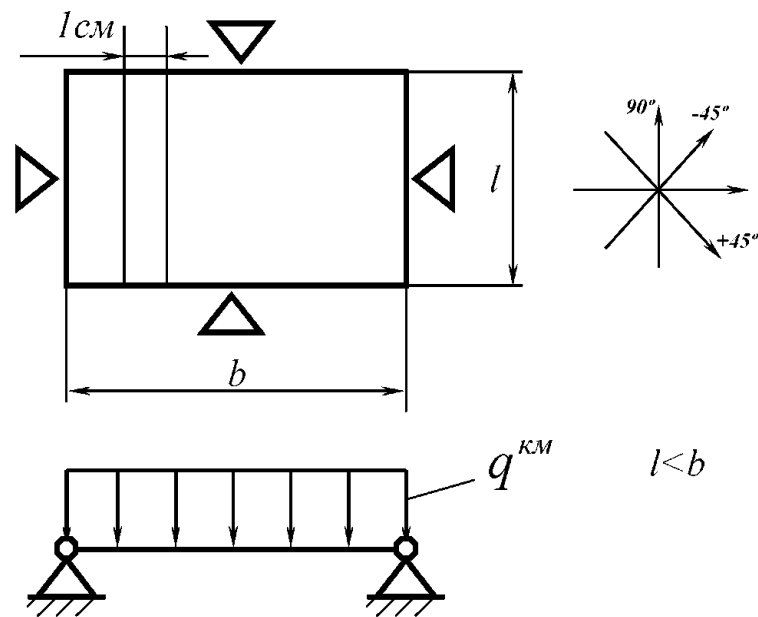


Рис. 2.6. Схема навантаження панелі

Для випадку панелі з даною схемою навантаження і з шарнірним обпиранням по контуру: максимальний згинальний момент M_{\max} , перерізуюча сила (Q_{\max} [17]) (довжина l в см, q – тиск на смугу шириною 1 см кг/см):

$$M_{\max} = \frac{q^{\text{км}} \cdot l^2}{8}, \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$Q_{\max} = \frac{q^{\text{км}} \cdot l}{2}, \text{ кг} \quad (9)$$

Для обраного типу стільникового заповнювача визначено необхідну висоту (за ОСТ 100728-75 використано стільники з коміркою $a = 2,5$ мм, товщиною фольги 0,04 мм і $\tau_{xy} = 22$ кг/см²):

$$h_{\text{com}} = \frac{Q_{\max}}{\tau_{xz}}, \text{ см} \quad (10)$$

Обчислено необхідну товщину і необхідну кількість шарів ПКМ. Для цього визначено діючу в обшивці силу $R_{\sigma_y}^{\text{км}}$ від моменту M_{\max} :

$$P_{\sigma_y}^{KM} = \frac{M_{\max}}{h_{\text{com}}}, \text{кГ} \quad (11)$$

Далі визначено необхідну товщину (11):

$$\delta_{KM} = \frac{P_{\sigma_y}^{KM}}{10\sigma_{\epsilon}^0}, \text{мм} \quad (12)$$

де σ_{ϵ}^0 - найменша з величин σ_{ϵ}^0 и $\sigma_{-\epsilon}^0$.

і необхідну кількість шарів ПКМ (12):

$$n_{\text{сл}} = \frac{\delta_{KM}}{\delta^1}; \quad (13)$$

У разі потреби збільшення кількості шарів, слід провести коригування укладання. Необхідно враховувати той факт, що при випробуваннях на розтяг і на стиск зразків із КМУ в разі, якщо зі стільниками з коміркою 2,5 мм контактують два шари з напрямком 90° , а шар 0° є третім шаром, то втрати міцності немає. Якщо зі стільниками контактують шари $\pm 45^\circ$, то міцність зменшується на 5-7%, а якщо зі стільниками контактують шари 0° , то міцність зменшується на 10-12%. Тому, на полі креслення обов'язково вказують орієнтацію клейових смуг стільникового заповнювача (див. рис. 2.7). За невірної орієнтації стільники можуть втратити міцність від зсуву.

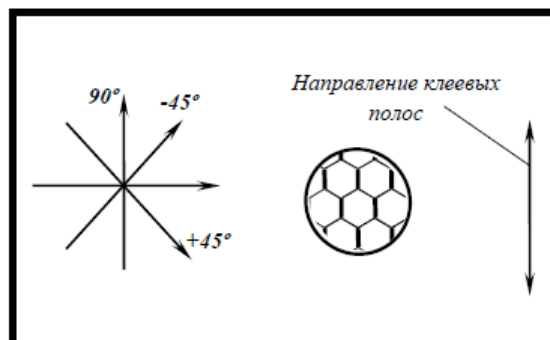


Рис. 2.7. Схема орієнтації стільників

2.4. Результати розрахунку

Таблиця 2.4. Результати розрахунку.

Назва матеріалу	δ^0 , мм	δ^{90} , мм	$\delta^{\pm 45}$, мм	n^0	n^{90}	$n^{\pm 45}$	$\sigma_{b_x}^{KM}$, кг/мм ²	$\sigma_{b_y}^{KM}$, кг/мм ²	$E_{b_x}^{KM}$, кг/мм ²	$E_{b_y}^{KM}$, кг/мм ²	$\tau_{b_{xy}}$, кг/мм ²
КМУ-3ЛП	0,83	0,5	0,65	8	5	6	37,7	25	7538	5013	10,8
КМУ-3Е	0,7	0,42	0,65	6	4	6	43,8	29,6	6575	4442	13,2
КМУ-3К	0,69	0,42	0,65	9	5	8	43,8	29,6	13150	8884	13,8
КМУ-3	0,57	0,34	0,65	2	2	2	51,6	35,5	8913	6137	16,1
КМУ-4Л	0,89	0,54	0,65	9	6	6	35,5	23,5	6860	4537	10,4
КМУ-4Е	0,74	0,44	0,65	6	4	6	41,8	28,1	4428	2976	13,5
КМУ-2ЛП	0,96	0,58	0,65	10	6	6	33,4	22	6168	4056	9,99

2.5. Перевірочний розрахунок

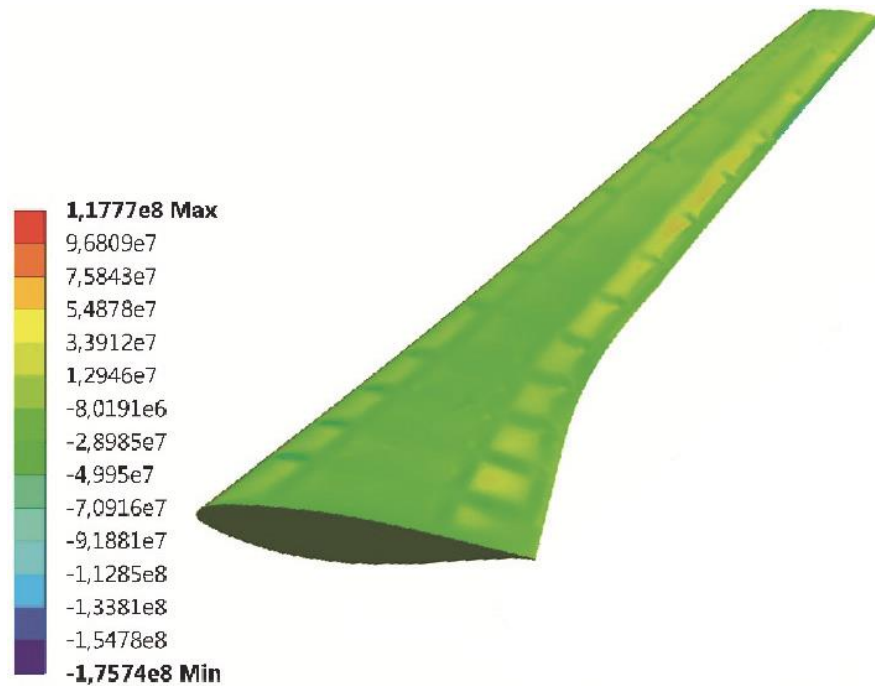


Рис. 2.8. Розподіл нормальних напружень, Па, впродовж осі X в глобальній системі координат в верхній обшивці

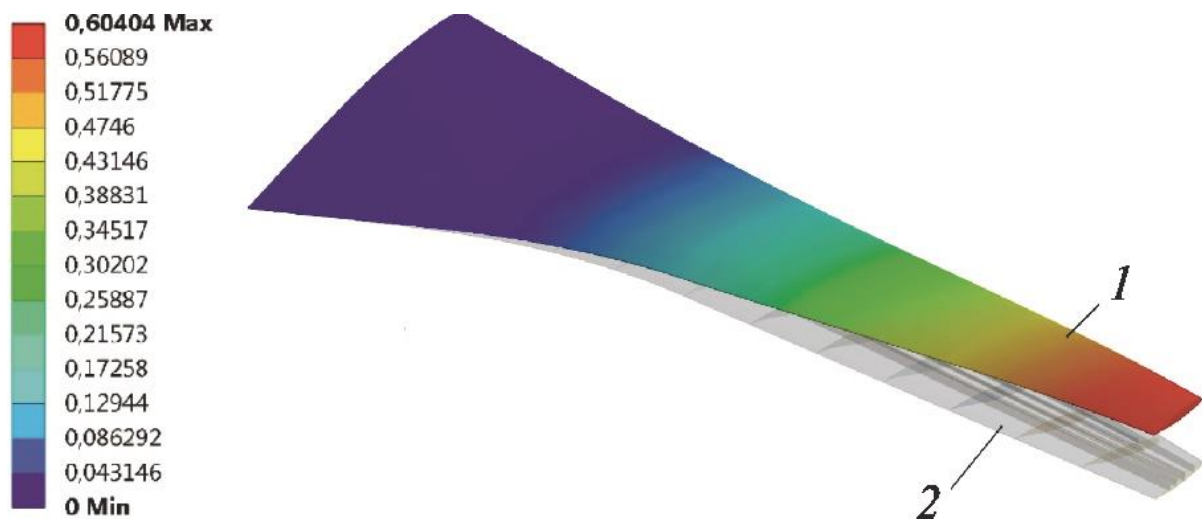


Рис.2.9. Розподіл прогину крила, м:

- 1 — деформований стан;
- 2 — недеформований стан.

2.6. Розробка конструкції панелі

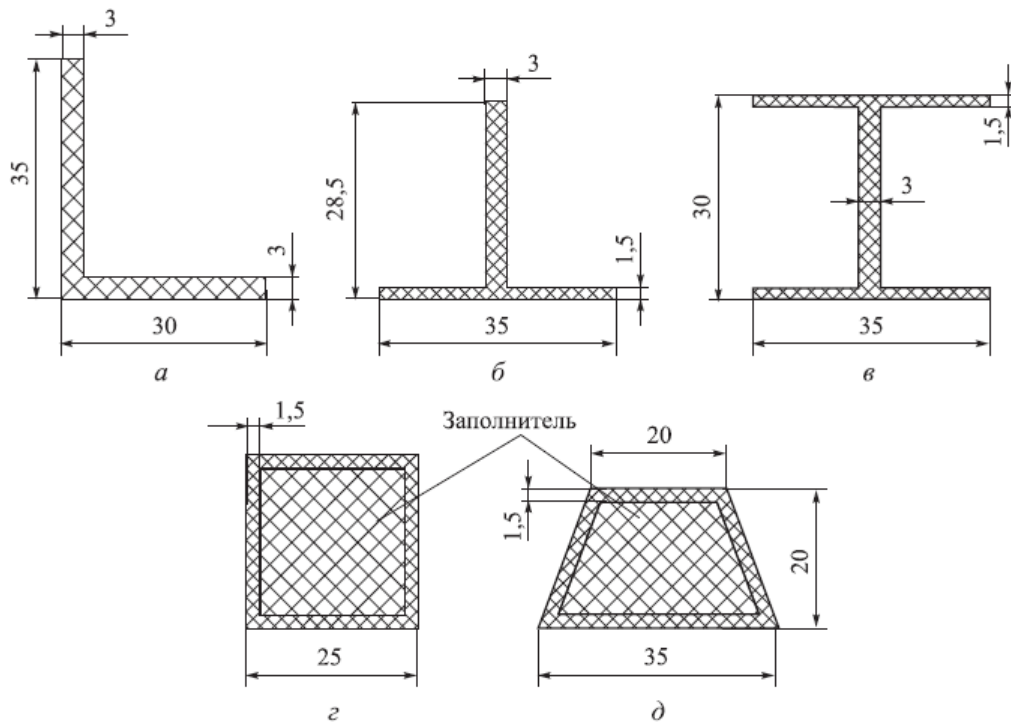


Рис.2.10. Варіанти форм перерізів стрингерів:

a — кутник; *б* — тавр; *в* — двотавр; *г* — квадрат с легким (пінним) наповнювачем; *д* — трапеція с легким (пінним) наповнювачем

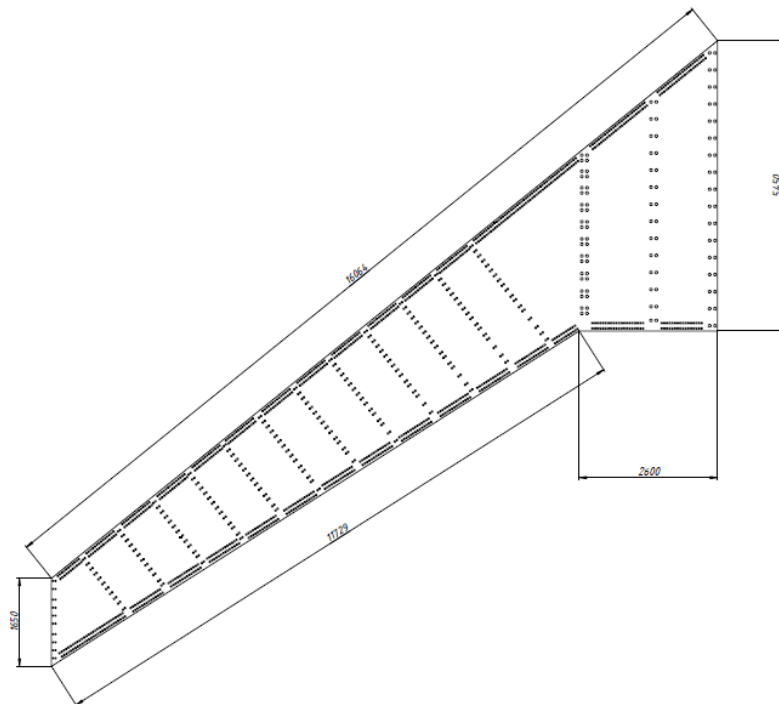


Рис.2.11. Розрахункова модель панелі крила:

Висновки до розділу

Сучасні композиційні матеріали характеризуються не тільки широким спектром механічних, фізичних і хімічних властивостей, а й здатністю до спрямованої їх зміни відповідно до призначення конструкції. Анізотропний характер властивостей КМ означає, що вони можуть мати як високі механічні характеристики, так і низькі. Тому, ефективна реалізація переваг цих матеріалів у конструкціях вимагає вирішення комплексу завдань, пов'язаних із вибором взаємно узгоджених вихідних компонентів, із визначенням раціональної структури матеріалу, що відповідає полю зовнішніх навантажень та інших впливів, з урахуванням його особливостей і технологічних обмежень.

Проведено розрахунок пакета з композиційних матеріалів з різними характеристиками. Найбільш вдалим виявився пакет з КМ марки КМУ-3Е. Схема укладання пакету: $0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, -45^\circ, +45^\circ \mid -45^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 90^\circ, +45^\circ, 0^\circ$.

3. Технологічні процеси виготовлення елементів конструкції з КМ та їх збірка

3.1. Загальна характеристика методів виробництва композиційних матеріалів

Полімерні КМ з необхідними фізико-механічними характеристиками, що призначені для експлуатації за різних умов, одержують шляхом комбінації зв'язуючих і армуючих наповнювачів. Процес виробництва КМ і виробів з них часто суміщені. Це дозволяє істотно понизити вартість виробів і зробити їх конкурентоспроможними поряд із традиційними товарами.

Виготовленню передують проектування раціональної конструкції, розробка рецептури матеріалу, вибір оптимальних методів формування і умов його здійснення. У деяких випадках визначальним чинником виявляється програма випуску. Так, для виробу, що виготовляється невеликими партіями, можна використовувати малопродуктивні методи формування і застосовувати дешеве обладнання. Багатосерійне виробництво передбачає значні витрати на виготовлення оснащення, що пов'язане із використанням більш продуктивних методів.

Залежно від методу переробки, затвердіння поєднується з формуванням виробу (у разі пресування реактопластів). Затвердіння відбувається після оформлення виробів у порожнині форми (литне пресування, литво під тиском реактопластів) або під час термічної обробки сформованої заготовки (при формуванні великогабаритних виробів) [15].

Досягнення необхідної твердості, навіть за наявності каталізаторів і за підвищених температур, іноді вимагає часу до декількох годин. Температурні перепади по перетину виробу під час переробки обумовлюють структурну неоднорідність і появу додаткових напружень. Це спричинює неоднаковість властивостей матеріалу, що не завжди є припустимим. Деякого поліпшення однорідності надмолекулярної структури і зниження внутрішніх напружень

можна досягти термічною обробкою готових виробів, проте більш ефективним є використання методів направленої регулювання структур у процесі переробки. При формуванні виробів з КМ, можлива зміна структури, а отже, і властивостей полімеру. Тому, одержані на основі одного і того ж полімеру вироби і матеріали, можуть значно різнитися за характеристиками, якщо технології виготовлення будуть різні. Важливими чинниками, що впливають на структуру і властивості КМ, є параметри переробки – температура, тиск, режим нагріву, охолодження тощо.

При виробництві КМ можна визначити основні технологічні стадії, незалежно від прийнятого методу [15].

Підготовка армуючого наповнювача :

а) Тонкодисперсних порошків – подрібнення, відсів потрібної фракції, знежирення, обробка поверхнево-активними речовинами (стабілізація), сушка.

б) Рубаних волокон, ниток, пасм, джгутів, крихти – знежирення, видалення замаслювача, апретування, рубка на відрізки необхідної довжини, сушка.

в) Стрічок, тканини, безперервних волокон, нетканих полотен – знежирення, видалення замаслювача, апретування, сушка.

Приготування зв'язуючого з полімеру (олігомеру):

а) Порошкоподібного або гранульованого зв'язуючого – подрібнення, відсів потрібної фракції, сушка, додавання стабілізаторів, модифікаторів, пігментів й інших інгредієнтів, гомогенізація суміші або приготування розплаву, розчину, дисперсії або емульсії з додаванням необхідних інгредієнтів, для термопластів – переробка в листовий матеріал.

б) Рідкого зв'язуючого – приготування розчину потрібної в'язкості, введення в розчин необхідних інгредієнтів.

Додавання компонентів КМ: зважування наповнювача і зв'язуючого відповідно до рецептури; вирізання (за трафаретом) тканих, об'ємних наповнювачів або препрегів, листів (плівок) полімеру.

Поєднання полімерного зв'язуючого з наповнювачем:

а) Тонкодисперсних порошків, рубаних волокон, ниток, пасм, джгутів, крихти – змішання порошкоподібного або рідкого зв'язуючого з наповнювачем в кульових млинах, лопатевих або шнекових змішувачах з подальшою гомогенізацією суміші вальцевим або шнековим методом (отримання компаундів, порошків), просочення відрізків волокон завдовжки 20-70 мм в лопатевих змішувачах; сушка або термічна обробка (часткове затвердіння реактопластів).

б) Стрічок, тканин, безперервних волокон, нетканих полотен – просочення або лакування розчином, розплавом, дисперсією, емульсією зв'язуючого (отримання препрегів) або в окремих випадках нанесення порошкоподібного зв'язуючого на кожний шар армуючого матеріалу.

Приготування напівфабрикатів:

а) Тонкодисперсних порошків, рубаних волокон, ниток, пасм, джгутів, крихти – подрібнення твердої маси, таблетування, грануляція або приготування преміксів.

б) Стрічок, тканин, безперервних волокон, нетканих полотен – вирізання або вирубка заготовок необхідної форми, приготування пакетів заготовок, намотування ниток або стрічок на облямовування (дорн), пошарове викладання заготовок на облямовування (матрицю), протяжка джгутів або ниток через формуючу голівку (при виготовленні профільних виробів).

Формування заготовки або виробу:

а) Тонкодисперсних порошків, рубаних волокон, ниток, пасм, джгутів, крихти – пряме пресування, литне пресування, профільне пресування, литво під тиском, відцентрове литво, автоклавне литво, екструзія, вакуум формування, штампування, напилення, пневматичне формування (видування) інше.

б) Стрічок, тканин, безперервних волокон, нетканих полотен – пряме пресування, вакуумформування, контактне формування, автоклавний метод інше.

Механічна обробка заготовки:

Обробка заготовки до необхідних розмірів і форми відповідними методами (фрезерування, точіння, полірування, свердління і шліфування, зубонарізання, з'єднання заготовок відповідними рознімними і не рознімними методами).

Декоративна, спеціальна, захисна обробка виробів:

Нанесення на виріб (іноді в процесі виготовлення відповідними методами декоративного, захисного або спеціального покриття).

Контроль якості виробів:

Контроль якості початкових компонентів, післяопераційний контроль технологічного процесу, контроль складу і властивостей КМ. Контроль містить зовнішній огляд для виявлення зовнішніх дефектів, перевірку розмірів, і визначення фізико-механічних характеристик, виявлення внутрішніх дефектів з використанням неруйнівних методів контролю.

3.2. Технологічне оснащення для виготовлення виробів із композиційних матеріалів

1). Форми для формування деталей.

У практиці виробництва виробів із композиційних матеріалів використовуються два типи форм: негативні й позитивні. Перші забезпечують отримання виробів із гладкою і більш точною зовнішньою поверхнею, а позитивні дозволяють виготовляти вироби з гладкою і точною внутрішньою поверхнею. У негативних формах виготовляють деталі з гарним зовнішнім виглядом і аеродинамічними характеристиками.

Проте, форми позитивного типу в багатьох випадках виявляються більш технологічними для формування.

Оснащення для формування деталей виконується зі сталі, сплавів алюмінію, дерева, гіпсу, цементу, склопластику або комбінації цих матеріалів. Форми виготовляють макетним або безмакетним способом. При макетному способі використовується спеціальна модель, поверхні якої відтворюються при виготовленні форми контактним способом. Формоутворення робочих поверхонь форми при безмакетному методі здійснюється або за допомогою спеціальних шаблонів, або механічною обробкою [15].

Металеві форми застосовують головним чином при використанні високих тисків формування, наприклад, при автоклавному і прес - камерному методах формування. Металеві форми мають велику вагу і дуже трудомісткі у виготовленні, тому вони застосовуються у виняткових випадках. Слід зазначити, що сталеві форми мають кращі експлуатаційні характеристики, більш зносостійкі й довговічні, мають менше температурне розширення, ніж форми з легких сплавів (наприклад, сплавів на основі алюмінію). На сталевих поверхнях легше отримати високу чистоту обробки. Але, вони є надто дорогими. Тому, доцільно виготовляти форми з гіпсу або цементу, а робочі поверхні облицьовувати листовим металом. В одиничному і дослідному виробництві, форми часто виготовляють з дерева. Незважаючи на економічність таких форм, застосування дерева обмежується залежністю геометрії і розмірів дерев'яних форм від вологості й температури атмосфери. Робочі поверхні дерев'яної оснастки покривають нітрошпаклівкою, шліфують і потім фарбують за допомогою пульверизатора нітрофарбою темного кольору. Після сушіння протягом 10 - 12 год. за температури 18 – 22 °С, пофарбовані поверхні полірують полірувальною пастою. У дрібносерійному і серійному виробництві, для збільшення терміну служби дерев'яних моделей, їх робочі поверхні футерують склопластиком. Товщина облицювального склопластикового шару повинна бути близько 5-10 мм. Поширення набули також склопластикові форми, що виготовляються за макетом (рис. 2.1) [15].

Для підвищення жорсткості склопластикових форм і додання їм високих експлуатаційних властивостей, застосовуються металеві каркаси, зварені з куточків або труб, пластмасові каркаси, склеєні з склопластикових труб або швелерів, і суцільні або порожнисті підстави (станини), що відливаються з цементу, смолопісчаної маси і алебастру.

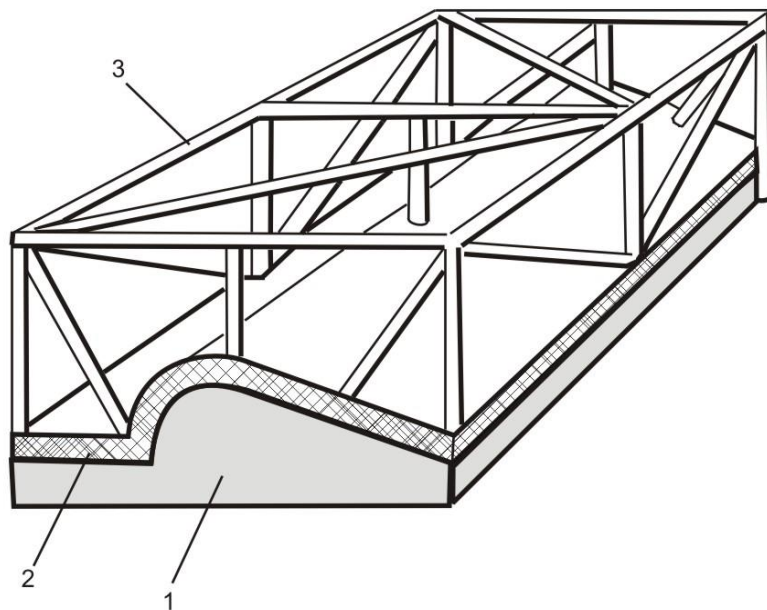


Рис. 3.1. Макетний спосіб виготовлення негативної форми:

1 - макет (модель); 2 - склопластикове облицювання; 3 – каркас

Особливо широко для виготовлення форм застосовується гіпс і алебастр (як для виробництва форм багаторазового використання, так і для виготовлення форм, що руйнуються одноразового використання). У виробництві великогабаритних деталей складної геометрії, після формування виникають труднощі з вилученням або зняттям готового виробу з форми. Для того, щоб зробити можливим демонтаж виробу, форма виконується розбірною або такою, що руйнується.

Розбірні форми є обладнанням багаторазового використання, але їх технологічні можливості обмежуються можливістю формування не дуже складних внутрішніх поверхонь, а розбірне оснащення є складнішим за конструкцією, дорожчим і менш точним.

Для формування складних замкнутих порожнин і внутрішніх елементів, єдино можливими є форми, що руйнуються, одноразового використання. У практиці виробництва великогабаритних виробів, для цих цілей використовують гіпсові форми й болванки. Як конструкційний матеріал, застосовують медичний гіпс.

При складній конфігурації формуючих поверхонь, що ускладнюють демонтаж макета без руйнування гіпсової форми, остання виготовляється збіркою з кількох простих частин. Для виготовлення середніх і великих форм, а також підстав (станин) металевих і склопластикових форм, замість гіпса може застосовуватися піщана формувальна маса. Точність розмірів і геометричних форм повинна бути не нижчою точності відповідних розмірів виробів, що формуються [15].

2). Цулагі, вакуум-чохли і дренажі.

Щоб забезпечити високу точність і якість поверхонь формованих оболонок, що не стикаються з робочими поверхнями форм, використовують легкі оболонки зворотного профілю – цулагі. Цулага має бути жорсткою, міцною, не жолобитися під дією зусиль формувань і температурного розширення матеріалу. Разом з тим, вона повинна бути легкою і зручною у використанні. Тому, на практиці використовуються металеві тонкостінні і склопластикові цулагі. Точність розмірів і геометрія робочої поверхні цулагі визначається точністю відповідних поверхонь формованих деталей. Товщина стінок металевої оболонки цулагі, виготовленої з алюмінієвого сплаву, становить 2,5 - 5 мм. При дуже великих габаритах, для збільшення жорсткості цулага підкріплюється стрингерно-шпангоутним набором. Склопластикові цулагі мають товщину 2 - 5 мм, і за необхідності посилюються ребрами жорсткості.

Вакуумні чохли для пружного формування виробів виготовляють з термостійкої гуми, а також з прогумованої балонної тканини. Лист гуми або балонної тканини розкрюється за формою виробу і склеюється клеєм. В отриманий таким чином вакуумний чохол монтується штуцер для підключення до вакуумного насоса.

Дренажні шари виготовляють з склотканини і полісілоксанової гуми. Гуму нарізають невеликими шматочками і заливають бензином на 12 год. Склад гумової суміші: гума - 100, бензин - 400-500 ваг.ч. Отриманим розчином просочують склотканину. Після цього, прогумовану дренажну тканину піддають термообробці за температури 120 – 160 °С протягом 5 - 6 год.

3). Інструмент для формування.

Основний інструмент при формуванні виробів із композиційних матеріалів – малярні пензлі, за допомогою яких наноситься зв'язуюче, котки для ущільнення арматури і видалення повітря і надлишку зв'язуючого і ножі для розкрою арматури (рис. 2.2).

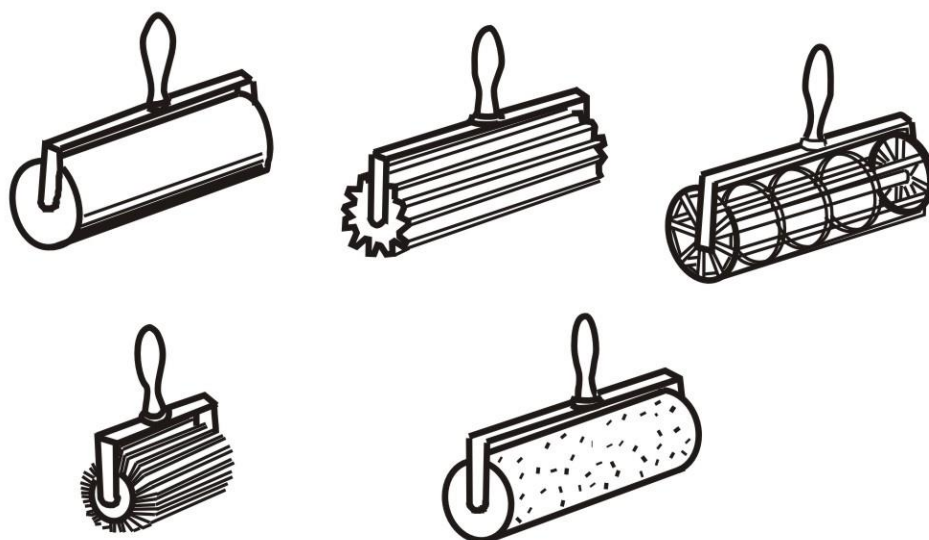


Рис.3.2. Котки для ущільнення просоченого матеріалу

4) Оправки для намотування.

Для отримання циліндричних і конічних виробів з відкритим торцем, можна застосовувати порожнисті й суцільні оправки зі сталі або алюмінію. При намотуванні з торцевою кришкою, посудин високого тиску, особлива увага має бути приділена конструкції оправки і вибору матеріалу для неї. За правильно обраної конструкції оправки, значно знижуються пошкодження волокон і відхилення розмірів деталі, зменшуються залишкові напруження. Оправка повинна зберігати достатню міцність при затвердінні зв'язуючих за підвищених температур і легко видалятися після затвердіння. Основні принципи конструювання оправок і вибору матеріалів для них полягають в урахуванні наступних чинників:

1. Розбірна конструкція повинна складатися з окремих частин. Вона не виправдовує себе при отриманні менше 25 деталей, оптимальний діаметр конструкції 910 - 1520 мм. Зняття оправки ускладнюється при маленьких полюсних отворах.

2. Застосування низькоплавких сплавів обмежене невеликими посудинами, діаметр і довжина яких не перевищує 300 мм.

3. Розчинний алебастр, який тривалий час знаходиться в пластичному стані, може стиратися по периметру й легко вимиватися.

4. Крихкий або такий, що ламається алебастр, найбільш придатний для отримання виробів великого діаметра. У таких випадках виникає необхідність у внутрішньому кріпленні, а розбивання відбувається з труднощами й може пошкодити виріб.

5. Найбільш придатним для виробів діаметром до 1500 мм, що випускаються в невеликих кількостях, є суміш піску з полівініловим спиртом. Суміш легко розчиняється в гарячій воді, але вимагає ретельного контролю процесу формування.

5). Формування пакету.

Формування пакету – це операція з отримання з КМ виробу заданої форми і розмірів. Процес складається з наступних етапів: розподілу на формотворній поверхні вихідних компонентів – армуючих матеріалів і зв'язуючих; прикладання тепла і тиску, що супроводжується полімеризацією і затвердінням матеріалу в готовий виріб. Реалізація операцій формування може здійснюватися різними методами: ручною викладкою, напиленням, контактним формуванням в прес-формах, автоклавним і вакуумним формуванням, намотуванням, плетінням, пултрузією і ролтрузією, комбінованими способами.

Початковою стадією при формуванні виробів з КМ є нанесення на формоутворювальну поверхню (матрицю, оправку, пуансон, форму тощо) антиадгезійних покриттів, в якості яких використовуються: парафін, полівініловий спирт, силани, силоксани, антиадгезійні плівки. Вибір покриття

залежить від типу поверхні що формується, зв'язуючого, а також від необхідності оздоблювальних операцій.

Наступною стадією процесу формування є розподіл армуючого матеріалу і зв'язуючого на оброблену антиадгезійну поверхню.

Формування ручним укладанням і напилювання є найбільш простими способами отримання виробів в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва, що є характерним для авіації. Оскільки, зазвичай до якості поверхні висуваються високі вимоги, першою стадією формування у формах відкритого типу, є нанесення на їх поверхню шару спеціальної полімерної композиції, який називають зовнішнім смоляним шаром (гелькоат). Після його затвердіння, у форму укладають або напилюють шари скловолокна і смоли з добавкою каталізатора, а потім ущільнюють матеріал у формі. При формуванні ручним укладанням, застосовують скловолокно у вигляді матів з рубаних пасм, тканини або ровінгу. Смолу і каталізатор або попередньо змішують в окремій ємності, після чого наносять пензлем або гумовим валиком, або ж напилюють за допомогою спеціального розпилювача, причому змішання компонентів відбувається у момент розпилення [15].

При формуванні напиленням, скловолокно попередньо подрібнюється на короткі відрізки, і в процесі розбризкування, перемішується одночасно зі смолою і каталізатором. Після того, як ця суміш потрапляє у форму, її ущільнюють зазубреними металевими валиками. Метод формування ручним укладанням, заснований на використанні заздалегідь підготовлених матів або тканин, забезпечує високу однорідність продукції за міцністю і можливість контролю показників. Всі типи армуючих матеріалів (мати з рубаними склопасмами, тканини і тканий ровінг) надходять у вигляді великих рулонів різної ширини. Лист потрібної довжини вирубуються з рулону, а потім, за необхідності, обрізається за шаблоном за допомогою універсального ножа, великих ножиць або електричної машини для різання тканин, аналогічної, що застосовуються у швейній промисловості. Потім, ретельно змішують заздалегідь виміряні кількості

смоли і каталізатора. Композицію можна наносити на скловолокно, як поза формою, так і всередині неї.

На рис. 2.3 схематично показано розташування всіх елементів склопластику при формуванні ручним укладанням.

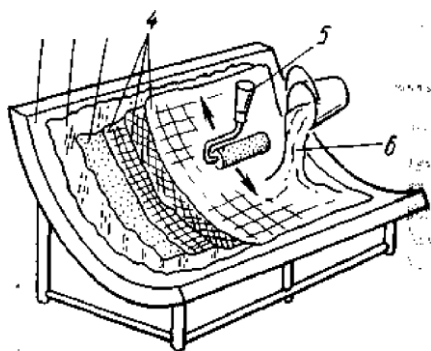


Рис. 3.3. Елементи конструкції форми і виробу при формуванні ручною укладкою:

1 – форма, 2 – розподільча плівка, 3 – зовнішній смоляний шар, 4 – скловолокно, 5 – ручний валик, 6 – смола в суміші з каталізатором

Для повного видалення повітря, і рівномірності просочення, смолу наносять спочатку на ділянки скловолокна у верхній частині форми. Для ущільнення матеріалу за формою, і видалення бульбашок повітря, використовують щітки, гумові і зубчасті валики (або в деяких випадках мохерові валики). Як уже зазначалося, суміш каталізатора зі смолою можна наносити на скловолокно розпилювачем, який автоматично дозує і змішує компоненти. Особливу увагу слід приділяти нанесенню першого шару, щоб не допустити утворення повітряних бульбашок між армуючим скловолокном і зовнішнім смоляним шаром. Після цього, вже можна наносити необхідну кількість шарів мату і (або) тканого ровінгу до досягнення розрахункової сумарної товщини. Шари мату і тканого ровінгу слід чергувати з метою забезпечення гарної міжшарової міцності зчеплення, запобіганню появи повітряних включень і отримання максимальної міцності.

Параметри процесу (температура, тиск, їх зміна в часі, тривалість формування, витримка) залежать від властивостей зв'язуючого і наповнювача,

конфігурації і розмірів формованого виробу. При опресуванні виробів контрматрицею використовують тиск в інтервалі 0,01 – 0,2 МПа.

Слід більш детально розглянути окремі стадії виробництва.

Так, підготовка форми починається зі шліфовки і поліровки її робочої поверхні. По досягненні заданого класу обробки поверхні, наносять декілька шарів пастоподібного парафіну, кожен шар полірується після витримки. Першим етапом при отриманні будь-якого виробу у відкритій формі є нанесення на її поверхню антиадгезійного покриття. Причому, через 10-20 циклів, форму чистять за допомогою спеціальних пристосувань [15].

Отримання зовнішнього смоляного шару (гелькоата) забезпечує утворення декоративної глянцевої поверхні з гарними захисними властивостями, що майже не вимагає додаткової обробки. Для отримання гелькоата, використовують полімерну композицію, що містить мінеральні наповнювачі, пігменти і фарбники без армуючих домішок. Розкрій тканини, нетканих матеріалів зазвичай проводять вручну, рідше ведеться підгонка «по місцю». Для просочення армуючого наповнювача використовують зв'язуюче, яке готується шляхом змішання необхідних інгредієнтів на відповідному устаткуванні, в спеціально відведених приміщеннях, і подається до робочого місця централізовано або в окремій роздавальній ємності (бак, діжа).

При ручному укладанні виробу, особлива увага приділяється першому шару, для якого зазвичай використовують тонку скловуаль або мат із розважуванням до 229 г/м^2 , щоб не припуститися утворення повітряних бульбашок між армуючим волокном і зовнішнім шаром – гелькоатом. Потім наносять необхідну кількість шарів матів або склоровінгу до досягнення розрахункової товщини [15].

З метою уникнення потрапляння повітря і рівномірності просочення кожного шару, «викладку» зв'язуючого починають з верхніх ділянок форми, а потім, для ущільнення матеріалу, проводять накочення щітками, гумовими і зубчастими валиками тощо. При викладці виробів лише скломатами, вміст скловолокна має бути 25-30%. У склопластиках, що отримані з використанням і

матів, і тканих ровінгів, вміст скловолокна коливається у межах 35-45%, при використанні лише тканини – вміст скловолокна становить близько 50%.

При формуванні напильня, ровінг скловолокна проходить через рубальний пристрій і вдувається в потік смоли, який прямує у форму через розпилювальну систему із зовнішнім або внутрішнім змішанням компонентів (рис. 2.4).

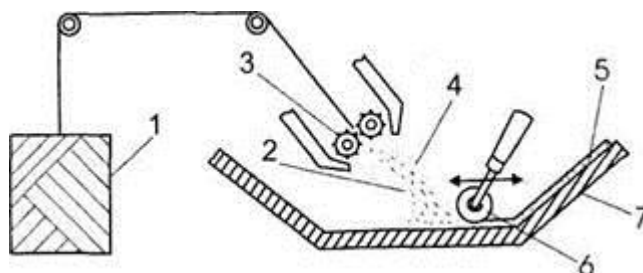


Рис. 3.4. Безповітряна система напильня з двома ємностями:

1 – ровінг, 2 – смола з каталізатором, 3 – рубальний пристрій, 4 – смола з прискорювачем, 5 – ущільнений шар, 6 – валик, 7 – форма

При цьому, одна розпилювальна голівка впорскує смолу, попередньо змішану з каталізатором, або тільки каталізатор, у той час, як інша голівка впорскує заздалегідь отриману суміш смоли з прискорювачем. Смола і каталізатор подаються в змішувальну камеру розпилювача позаду єдиної розпилювальної голівки. В обох випадках полімерна композиція попередньо покриває волокно, і об'єднаний потік рівномірно розпорошується оператором у заданій формі за заданою схемою. Після введення у форму суміші смоли з волокном, утворений шар накочують вручну для видалення повітря, ущільнення волокон і отримання гладкої поверхні. Технологія затвердіння і обрізки краю аналогічна тій, що застосовується при формуванні ручною укладкою [15].

Порівняльна характеристика КМ, отриманих ручною укладкою, напильням і металами (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Фізичні характеристики КМ і сталей

Характеристики	Формування ручною укладкою		Напилення	Алюміній	Сталь
	матів	тканини			
Щільність, кг/м ³	1400-1800	1600-2000	1400-1600	2750	7850
Границя міцності при розтягу, МПа	70-140	136-340	60-125	40-185	200-230
Границя міцності при стиску, МПа	70-175	140-375	70-175	62	195
Модуль пружності при згині, ГПа	5,5-7	8-14	5,5-7	70	190-205
Границя міцності при згині, МПа	135-275	240-445	110-150	135	205
Стійкість до атмосферної дії	Від гарної до чудової			Кородує	Іржавіє

В обох випадках формування, отриманий шаруватий пластик можна вважати елементарним конструкційним матеріалом. Варіювання співвідношення смоли і наповнювача, виду армуючого матеріалу і системи його укладки, типу смоли, виду і кількості наповнювача дозволяють суттєво змінити фізичні властивості отриманих КМ. Очевидно, що структура і склад КМ формуються в процесі отримання виробу.

Спираючись на попередні описи, можна зробити висновок, що метод ручної укладки має наступні недоліки: значні витрати ручної праці, низька продуктивність, необхідність у висококваліфікованому персоналі, отримання

гладкої поверхні лише з одного боку. Але, незважаючи на ці недоліки, метод широко використовується [15].

3.3. Технології виготовлення КМ. Просочення армуючих елементів

Полімерні КМ мають істотну відмінність від металів, яка полягає у тому, що КМ отримують одночасно з виробом. Якщо при використанні металів, виробник гарантує геометричні та фізико-механічні характеристики матеріалів, то для КМ промисловість поставляє лише компоненти. Тому, технологія переробки КМ у вироби принципово відрізняється від традиційної технології, характерної для металів і передбачає наступні операції: підготовку армуючих матеріалів; приготування зв'язуючого; просочення армуючих матеріалів зв'язуючим; формування деталі; затвердіння зв'язуючого; витяг виробу з технологічної оснастки; контроль якості матеріалу у виробі; механічну або іншу обробку деталі й маркування [16].

При формуванні виробів з КМ необхідно забезпечити:

- якісні адгезію і аутогезію зв'язуючих і монолітність структури композиту;
- відповідну орієнтацію арматури або наповнювача;
- розрахункові мікро- і макроструктурні критерії КМ;
- задані геометричні форми поверхонь;
- точність розмірів і геометричних форм;
- точність взаємного розташування поверхонь;
- високу якість і чистоту поверхонь.

На вибір методу виготовлення великий вплив мають: складність конструктивних форм і габаритні розміри виробу, необхідна точність геометричних форм і розмірів, задана чистота поверхонь, конфігурація деталі і товщина її стінок, необхідні фізико-механічні властивості КМ, характер виробництва (масштаб виробництва) і конкретні виробничі умови (наявне обладнання, технологічне оснащення, потужності та можливості інструментальних цехів) [16].

Існує кілька технологічних методів виготовлення виробів з КМ, залежно від способу нанесення полімерного зв'язуючого (просочення) і забезпечення необхідного процентного вмісту його в структурі КМ.

Так, «сухий» метод виготовлення полягає в тому, що арматура перед формуванням попередньо просочується полімерним зв'язуючим на окремій технологічній операції, яка виконується на спеціалізованому обладнанні. Виділення просочення в самостійну операцію дозволяє суттєво розширити діапазон полімерних зв'язуючих за рахунок можливості застосування легких розчинників (толуолу, ацетону тощо.). Введення цих розчинників в полімерне зв'язуюче зменшує їх технологічну в'язкість, що дає можливість поліпшити якість і рівномірність просочення арматури в усьому обсязі, зберігаючи високу життєздатність просоченого компаунда (зв'язуючого). Але, щоб подальше випаровування летючих розчинників не позначалося на якості КМ, щільності його структури і з метою запобігання появи газових включень, бульбашок у готовому виробі, необхідно передбачити операцію просушування просоченої арматури перед формуванням, безпосередньо після просочення [16].

Зазвичай, операцію просочення і просушування технологічно поєднують і виконують на одному агрегатному устаткуванні. При просочуванні забезпечується не тільки якісне заповнення зв'язуючим структури арматури (ниток, тканини тощо), а й необхідний процентний вміст зв'язуючого в КМ з урахуванням технологічних втрат шляхом регламентації його нанесу на арматуру. Нанос зв'язуючого при просочуванні регулюється швидкістю просочення (швидкістю руху арматури в просочувально-сушильному агрегаті), яка вибирається залежно від в'язкості приготованого просоченого компаунда і від типу арматури. В'язкість зв'язуючого можна легко варіювати в широкому діапазоні шляхом зміни кількості введеного розчинника і температури ванни.

При виготовленні виробів із попередньо просоченої арматури, автоматично забезпечується рівномірне об'ємне розподілення зв'язуючого в КМ. Залишається забезпечити якісне злипання зв'язуючого (аутогезію) і надійне прилипання його до поверхні волокон (адгезію) без пустот і непроклеваних місць. Це досягається

відповідним вибором технологічних параметрів формування КМ. Висока температура формування сприяє розм'якшенню і розплавленню полімерного зв'язуючого і його якісній аутогезії й адгезії. Висока в'язкість зв'язуючого при виготовленні «сухим» методом не допускає стікання і міграції полімеру в структурі відформованої стінки виробу [16].

Слід зазначити, що при «сухому» методі, просочення виділяють в самостійну операцію, в результаті якої з арматури і зв'язуючого отримують препреги – нитки, джгути, стрічки, тканини, які після просочення стають підсушеними й частково затверділими. У частково затверділому стані препреги можуть перебувати від кількох днів до кількох місяців, залежно від температури навколишнього середовища. Науковці вважають «сухе» намотування більш прогресивним методом, ніж «мокре» намотування. Ця технологія вирізняється високою продуктивністю, адже швидкість намотування не обмежується швидкістю просочення, і цілком залежить від можливості намотувального обладнання. Намотування препрегами дозволяє використовувати широкий діапазон смол, забезпечити рівномірний розподіл зв'язуючого за об'ємом виробу, зменшити відходи матеріалу. Вироби, отримані з препрегів, мають підвищену герметичність й низьку пористість [16].

Для отримання препрегів, застосовують просочувальні машини. Принципова схема просочувальної машини зображена на рис. 2.5.

Просочувальна машина містить в собі наступні вузли: приймальний пристрій препрегів 1; напрямні ролики 2, 3, 5, 7; фотоелементи 4; шахти нагріву просоченого ровінгу 6, 8; віджимні валки 9; занурювальні валки 10; просочувальну ванну 11; насос 12; пристрій подачі ровінгу 13; котушку 14 з ровінгом в непросоченому стані. З котушки 14 непросочений ровінг (моноволокно, нитка, стрічка) подається пристроєм 13 і напрямних роликом 5 в просочувальну ванну 11, що заповнена рідким полімерним зв'язуючим. Між пристроєм 13 і направляючим роликом 5 встановлені фотоелементи 4, за допомогою яких контролюється товщина просочування ровінгу. Якщо товщина ровінгу перевищує допустиме порогове значення, на виході фотоелементів

виробляється управляючий електричний сигнал, який блокує роботу просочувальної машини. У просочувальній ванні встановлені занурювальні валки 10. Проходячи через них, ровінг просочується полімерним зв'язуючим. Валки 10 можуть як обертатися, так і не обертатися [16].

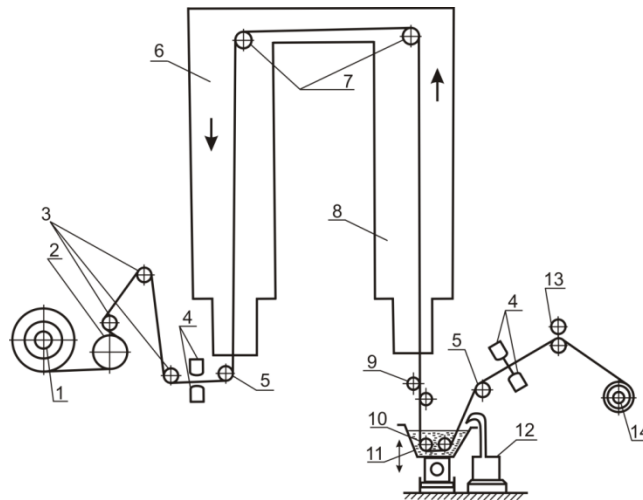


Рис.3.5. Схема просочувальної машини:

- 1 - приймальний пристрій препрегів; 2, 3, 5, 7 - напрямні ролики;
 4 - фотоеlementи; 6, 8 - шахти нагріву просоченого ровінгу; 9 - віджимні валки; 10 -
 занурювальні валки; 11 - просочувальна ванна; 12 - насос;
 13 - пристрій подачі ровінгу; 14 - котушка з вихідним ровінгом в непросоченому стані

Для просочення односпрямованих ниток, джгутів, стрічок, є занурювальні валки, що не обертаються, щоб запобігти намотуванню на них окремих волокон ровінгу. При просочуванні тканинної арматури, цього можна не побоюватися.

Просочений ровінг через віджимні валки 9 надходить в шахти 6, 8. За допомогою віджимних валків видаляється надлишок зв'язуючого з ровінгу, а в шахтах відбувається підсушування ровінгу (але не затвердіння зв'язуючого). Рух ровінгу в шахтах забезпечують напрямні ролики 7. Підсушений ровінг через напрямні ролики 2, 3, 5 намотується на котушку 1 (приймальний пристрій препрегів). Між роликом 5 і роликами 2, 3 встановлені фотоеlementи 4, за допомогою яких контролюється товщина просоченого ровінгу.

«Мокрий» метод характеризується тим, що операції просочення і формування виробу технологічно поєднані. Остання обставина не допускає використання летючих розчинників для підвищення текучості зв'язуючого (зменшення їх технологічної в'язкості) та з метою поліпшення умов просочення. Необхідно зважати на те, що зі структури відформованого КМ виділяються летючі матеріали, і це різко погіршує якість КМ, його монолітність і міцність. Використання зв'язуючих, розведених летючими розчинниками, при виготовленні «мокрим» методом допускається лише при виробництві невідповідних деталей.

При «мокрому» методі, зв'язуюче наноситься пульверизатором, відцентровим способом, нагнітанням або засмоктуванням, пропусканням арматури через ванну зі зв'язуючим [16].

Необхідна консистенція просоченого компаунда в даному випадку забезпечується вибором відповідної марки зв'язуючого (з якомога меншою молекулярною вагою), застосуванням розріджувачів (пластифікаторів) і підігріву, оскільки з підвищенням температури просочувального компаунда, його технологічна в'язкість падає. Однак, підвищення температури зменшує життєздатність зв'язуючого, тобто час, протягом якого зв'язуюче зберігає свої технологічні властивості. Із застосуванням підігріву прискорюються процеси полімеризації, що спричиняє збільшення молекулярної ваги компаунда й погіршення його просочувальних властивостей.

Перевага «мокрого» методу полягає у високій продуктивності, за рахунок усунення просочення і просушування арматури як самостійних операцій. При цьому, для якісного формування, потрібні менші контактні тиски, оскільки опір рідкого зв'язуючого ущільненню арматури або наповнювача при формуванні виробів порівняно невеликий, а адгезія і аутогезія отримуються високої якості. Зменшення контактного тиску формування призводить до зменшення потрібних потужностей обладнання за інших рівних умов. Тому, «мокрый» метод є основним способом у практиці формування великогабаритних виробів складної конфігурації [16].

У виробництві полімерних КМ найпоширенішим є метод протягування арматури через рідке зв'язуюче. Так, волокниста арматура, огинаючи систему напрямних роликів, проходить через зв'язуюче, що знаходиться у ванні, захоплює частину його на своїй поверхні й у міжволоконному просторі. Надлишок зв'язуючого на виході з ванни знімається за допомогою фільтри або віджимного пристрою, після чого просочена арматура надходить на сушку або безпосередньо на операцію формування виробу. Деякі схеми просочення волокнистої арматури показані на рис. 3.6.

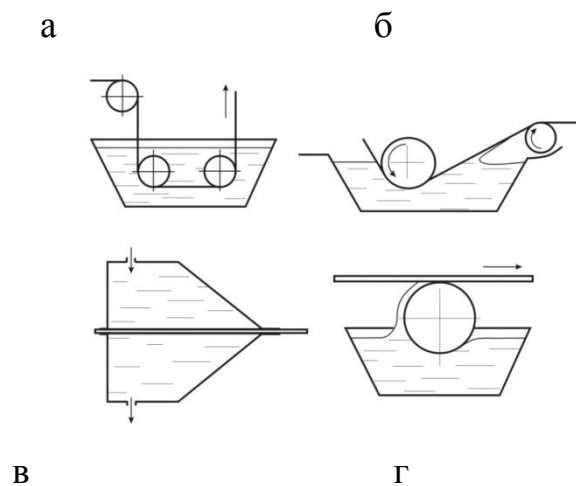


Рис. 3.6. Методи просочення армуючих наповнювачів:

а, б - тонких гнучких ниток і джгутів; в, г - жорстких стрічок

Для КМ з жорсткою арматурою (високомодульні вуглецеві, борні та інші волокна), яка не допускає малих радіусів перегину, зручно використовувати метод просочення роликком, що «купається» (рис. 2.7).

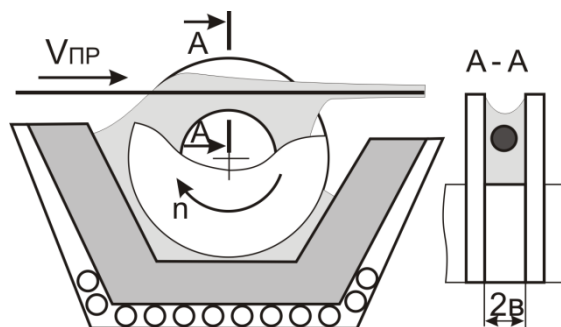


Рис.3.7. Просочення роликком, що «купається» жорстких ниток і джгутів

Метод полягає в тому, що при обертанні, ролик захоплює на свою поверхню зв'язуюче і переносить його на арматуру. Основним технологічним параметром виготовлення КМ є контактний тиск формування, оскільки саме за допомогою суворой його регламентації, вдається отримати високоякісні й міцні вироби. Залежно від того, яким чином забезпечується контактний тиск формування, розрізняють наступні практичні методи формування виробів:

- метод локального притиску;
- метод пружного формування;
- метод жорсткого формування.

Кожен з цих методів кінематично може здійснюватися по-різному, що дозволяє провести подальше розділення технологічних методів формування [16].

1). Метод локального притиску передбачає:

- а) формування методом намотування арматури;
- б) формування методом обмотки і обплетення арматурою;
- в) контактне формування притискним роликом;
- г) напилення.

2) Метод пружного формування містить в собі:

- а) формування пружним пуансоном або пружною матрицею;
- б) вакуумне формування за допомогою еластичного чохла;
- в) автоклавне формування за допомогою еластичного чохла;
- г) прес-камерне формування;
- д) відцентрове формування.

3) Метод жорсткого формування передбачає:

- а) формування в закритих формах з нагнітанням або всмоктуванням зв'язуючого;
- б) вакуумне формування із застосуванням жорсткої цулаги;
- в) автоклавне формування із застосуванням жорсткої цулаги;
- г) пресування.

3.4. Виготовлення панелі крила методом вакуумної інфузії

Вакуумна інфузія на сьогодні є найбільш перспективною технологією отримання композиційних матеріалів. Використання вакуумної інфузії як процесу для отримання виробів з КМ обумовлене низкою причин:

- Отримання КМ з високим вмістом армуючого матеріалу;
- Низька пористість;
- Відсутність матеріалів з малим терміном життя (препрегів), час підготовки і складання вакуумного мішка необмежений;
- Відсутність необхідності в дорогих автоклавах або пресах і інжекційних системах;
- Можливість виготовлення великих деталей цілком без поділу на складові частини.

Дані чинники сприяли розвитку технології вакуумної інфузії, а також обумовлюють її широкий потенціал для подальшого застосування. Процес вакуумної інфузії полягає в заповненні рідким зв'язуючим пір у армованому матеріалі, який попередньо пройшов процедуру вакуумування.

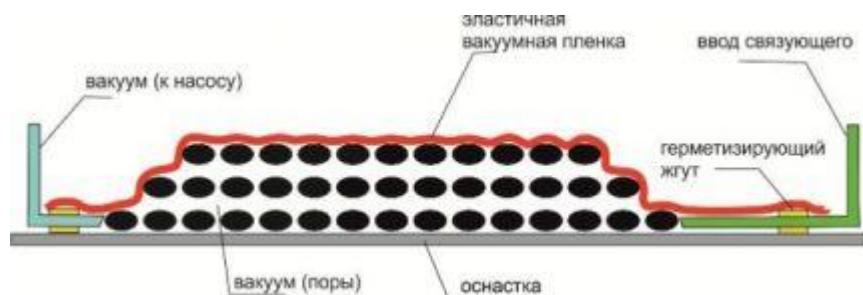


Рис.3.8. Пакет, підготовлений до вакуумної інфузії

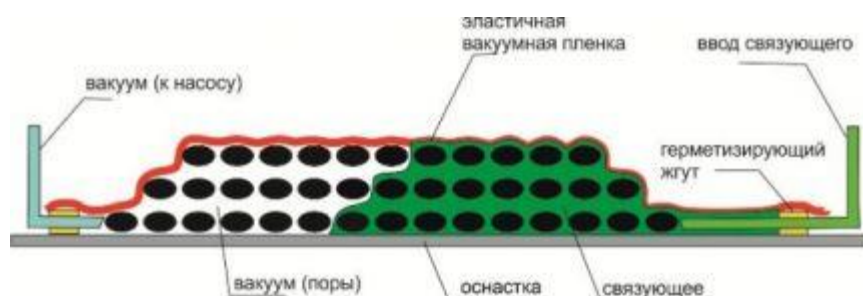


Рис.3.9. Заповнення всіх пустот під час просочення

Після просочення відбувається затвердіння рідкої смоли з утворенням жорсткої полімерної матриці, що обумовлює рівномірний розподіл навантаження в композиційному виробі. Типовими армуючими матеріалами є: склотканина і вуглецева тканина. Як зв'язуюче можуть застосовуватися епоксидні, поліефірні, епоксиднілефірні та ін. матеріали.

При виборі зв'язуючого необхідно знати, при якому рівні вакууму воно може закипіти. Наприклад, стирол, що міститься у всіх поліефірних зв'язуючих, закипає при кімнатній температурі, якщо тиск у вакуумному пакеті складає менше 50 мм рт. ст., тоді, як епоксидні зв'язуючі не закипають навіть при 1 мм рт. ст. Також слід переконатися, що зв'язуюче не містить розчинників, які також будуть закипати в процесі інфузії, і сприятимуть утворенню пір і зниженню міцності виробу.

Технологічний пакет для вакуумної інфузії, як правило, містить наступні шари, зображені на рисунку 3.10.

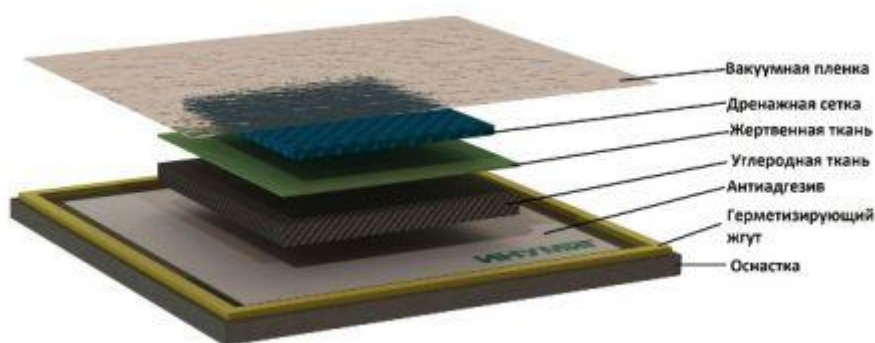


Рис. 3.10. Технологічний пакет для вакуумної інфузії

Ключовими технологічними чинниками, що впливають на якість кінцевого виробу є:

- Герметичність пакета

При наявності дірок або нещільного прилягання джгута КМ буде пористим, матиме недосконалу поверхню, а також процес інфузії може не завершитися.

- Рівень вакууму

При недостатньому вакуумі (більше 100 мм рт. ст.) армуючий матеріал стискається недостатньо щільно, і вміст зв'язуючого у виробі може бути завищеним, а також може зростати пористість.

- В'язкість смоли

Високов'язка смола (із в'язкістю вище 500-600 мПа*с) просочує матеріал занадто повільно і може утворювати незаповнені порожнечі (пори), як всередині КМ, так і на його поверхні.

- Час гелювання смоли

Швидке гелювання смоли може привести до того, що інфузія не встигне завершитися. В'язкість починає зростати набагато раніше гелювання, тому зв'язуюче необхідно вибирати з великим запасом часу на гелювання. Бажано, щоб час гелювання був не менше 5 годин.

- Правильний розподіл смоли за допомогою провідних сіток

При розташуванні провідних зв'язуючих матеріалів бажано, щоб від закінчення провідної сітки до виведення вакууму в усіх точках, була приблизно рівна відстань 2-5 см. Довжина сітки без підведення зв'язуючого – не більше 1 метра. Існує кілька стандартних стратегій для великогабаритних виробів щодо розподілу підвідних трубок до просочуваної форми, такі як, риб'ячий скелет або паралельні вводи, які послідовно відкриваються. Також для великогабаритних виробів часто застосовують моделювання просочення.

- Акуратна викладка шарів тканини і допоміжних матеріалів

При отриманні КМ методом вакуумної інфузії велику увагу слід приділяти викладанню шарів вуглецевої тканини, допоміжним матеріалам і збірці вакуумного мішка.

Вуглецева тканина повинна щільно прилягати до оснащення або гелькоату. За необхідності краще зробити підклею тканини до оснащення за допомогою клею (спрею) або липкої стрічки. Слід уникати виникнення натягнутостей або точок неповного прилягання тканини до оснащення або гелькоату, оскільки це може викликати зміну геометричних розмірів внутрішньої частини виробу, а також призводить до збільшення ваги кінцевого виробу в зв'язку з утворенням ділянок із

підвищеним вмістом зв'язуючого. Необхідно ретельно контролювати щільне прилягання матеріалів по всій поверхні для всіх шарів вуглецевої тканини, а також для всіх допоміжних матеріалів.

При закріпленні дренажної сітки для розподілу зв'язуючого, слід пам'ятати, що при використанні тонкого вакуумного мішка, вакуумна сітка може його проткнути. Після встановлення вакуумного мішка необхідно переконатися в його герметичності. Для цього потрібно на деякий час відключити насос і стежити за тим, щоб за 5 хвилин вакуум не впав більше, ніж на 10 мм рт. ст. Для зручності роботи краще використовувати вакуумні насоси з досить високою продуктивністю. Це дозволить швидко відкачувати вакуумний мішок, а також не спричинить істотного падіння вакууму при наявності «мікродірочок». При потраплянні повітря у вакуумний мішок, утворюються пори в КМ, які призводять до дефектної поверхні з «вибоїнами» в місцях переплетення тканини, а також до істотного падіння механічних характеристик. КМ отримується крихким і неміцним, а лише 1% пір спричиняє падіння міжшарової міцності приблизно на 10%.

Існує велика кількість методів, що дозволяють тим або іншим чином управляти процесом вакуумної інфузії, як, от: математичне моделювання процесу просочення, використання напівпроникних матеріалів для отримання деталей з мінімальною пористістю, використання різних провідних сіток для забезпечення необхідної швидкості просочення, застосування подвійного вакуумного мішка для зменшення ймовірності розгерметизації. Для розуміння параметрів, які можуть впливати на процес вакуумної інфузії, можна розглянути найпростішу модель, що описує даний процес.

Швидкість інфузії можна описати рівнянням:

$$\vartheta = \frac{K * S}{\eta} * \left(\frac{P_{\text{атм}} - P_{\text{вакуум}}}{l} \right)$$

де

ϑ – швидкість інфузії.

K – проникність просочуваного матеріалу. Наприклад, у тканин проникність вища, ніж в односпрямованих стрічок.

η – в'язкість смоли (чим нижча в'язкість, тим вища швидкість інфузії).

S – площа перетину просочуваного матеріалу.

$P_{\text{атм}} - P_{\text{вакуум}}$ – різниця тисків (чим глибший вакуум, тим вища швидкість інфузії).

Таким чином, знижуючи в'язкість й збільшуючи різницю тисків, можна істотно прискорити процес, а перехід від тканини до односпрямованих стрічок призведе до уповільнення процесу вакуумної інфузії.

Висновки до розділу

Полімерні КМ з необхідними фізико-механічними характеристиками, що призначені для експлуатації за різних умов, одержують шляхом комбінації зв'язуючих і армуючих наповнювачів. Процес виробництва КМ і виробів з них часто суміщені. Це дозволяє істотно понизити вартість виробів і зробити їх конкурентоспроможними поряд із традиційними товарами.

З описаних методів обрано метод вакуумної інфузії. Вакуумна інфузія на сьогодні є найбільш перспективною технологією отримання композиційних матеріалів. Використання вакуумної інфузії як процесу для отримання виробів з КМ обумовлене низкою причин:

- Отримання КМ з високим вмістом армуючого матеріалу;
- Низька пористість;
- Відсутність матеріалів з малим терміном життя (препрегів), час підготовки і складання вакуумного мішка необмежений;
- Відсутність необхідності в дорогих автоклавах або пресах і інжекційних системах;
- Можливість виготовлення великих деталей цілком без поділу на складові частини.

4. Розробка стартап-проекту

4.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Заміна існуючих монолітних панелей на панелі із композиційних матеріалів	Авіабудування. Кесон крила, фюзеляж, хвостове оперення.	1. Зменшення маси панелі при незмінних міцності та жорсткості.
		2. Виграш у ціні.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (Слабка сторона)	N (Нейтральна сторона)	S (Сильна сторона)
		Мій проект	Алюміній	Сталь			
1	Щільність, кг/м ³	1600-2000	2750	7850	+		
2	Границя міцності при розтягу, МПа	136-340	40-185	200-230			+
3	Границя міцності при стиску, МПа	140-375	62	195			+
4	Модуль пружності при згині, ГПа	8-14	70	190-205	+		
5	Границя міцності при	240-445	135	205			+

	згині, МПА						
6	Стійкість до атмосферної дії	Від гарної до чудової	Кородує	Іржавіє			+

4.2. Технологічний аудит проекту

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Заміна існуючих монолітних панелей на панелі із композиційних матеріалів	1. Інфузія	Наявна	Доступна
2		2.Автоклавне формування	Наявна	Доступна
3		3. Пресування	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації проекту: метод вакуумної інфузії.				

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000000 \$
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20 %

Оскільки середня рентабельність складає 20%, ринок можна вважати прибутковим.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зменшення витрат на виробництво, зменшення маси ЛА	Авіаційні підприємства	В залежності від якості виконання замовлення, клієнти формують репутацію фірми	Відсутність дефектів, характеристики деталі відповідають заявленим у паспорті

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Наявність кваліфікованих кадрів	При виготовленні панелі потрібні висококваліфіковані спеціалісти	Пошук персоналу
2	Дефект у деталі	При виробництві панелей можливі деякі похибки	При виявленні похибок, деталь треба переробляти заново
3	Проблеми постачання	Можливі затримки з виробництвом	Пошук нових постачальників

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Спонукає розробляти і виробляти нові продукти, знижувати витрати їх виробництва і вартість	Ускладнення структури та функціональної наповненості товару
2	Попит	Зацікавленість військової сфери	Налагодження мостів із державою.
3	Зростання ринку композиційних матеріалів	Зростання об'ємів продажу	Накопичення капіталу для подальшого розширення компанії

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції: - олігополія	На ринку присутня дуже невелика кількість фірм, які займаються композитними матеріалами	Підвищувати якість товару за рахунок використання передових технологій та залучення кваліфікованих кадрів
2. За рівнем конкурентної боротьби: - національний	В Україні дуже мала кількість компаній, загалом всі фірми знаходять за кордоном	Створювати локалізований веб-сайт компанії і налагоджувати експорт продукції

3. За галузевою ознакою: - внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні, тощо.	Відслідковувати продукти конкурентів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару
5. За характером конкурентних переваг: - не цінова	Ціна продукції досить висока, тому головне досягти хорошої якості	Продавати товар за конкретною ціною.
6. За інтенсивністю: - не марочна	Боротьба носить явно не марочний характер	Відсутність у галузі такого поняття, як «Бренд».

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари - замінники
	Компанія «АероКомпозит»	-	Кількість постачальників	Вимоги до якості (відтворюваність заявлених	Замінники існують,

				властивостей)	проте техноло гічно невигід ні
Висновки:	Інтенсивність висока, бо продукт є наукоємним і тому не кожна фірма здатна розробити такий продукт	-	Постачальни ки не диктують умови роботи на ринку	Товар має бути якісним та мати сталі властивості	Обмеже нь немає

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Ціна	Оскільки ціна нижча ніж у конкурентів
2	Терміни та масовість виробництва	Необхідно вчасно постачати продукт і знижувати ціну виробництва.
3	Гарні робочі характеристики	Характеристики композиційних панелей співставні з характеристиками монолітних панелей

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим проектом						
			-3	-2	-1		+1	+2	+3
1	Ціна	15			+				
2	Терміни та масовість виробництва	16					+		
3	Гарні робочі характеристики	18				+			

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: гарні робочі характеристики, надійність.	Слабкі сторони: ціна.
Можливості: знижувати витрати на виробництво продукції.	Загрози: відсутність кваліфікованих кадрів на ринку праці; зниження попиту.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розробка більш дешевого КМ з такими ж властивостями.	50 %	2 роки
2	Розробка більш дешевого КМ з дещо гіршими властивостями.	75 %	1 рік

Обрано альтернативу №2.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Комерційні структури	Готові	Високий	Низька	Середня
2	Військові структури	Готові	Високий	Низька	Висока
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №1.					

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розробка більш дешевого КМ з такими ж властивостями	За рахунок пріоритету вибору більш дешевого аналога з подібними характеристиками	Можливість досягнення тих же результатів з використанням більш дешевих підходів	Стратегія лідерства на витратах
2	Розробка більш дешевого КМ з дещо гіршими властивостями	За рахунок пріоритету вибору більш дешевого аналога	Дещо понизити рівень пропонованих властивостей продукту, щоб знизити ціну	Стратегія диференціації

Обрано стратегію лідерства на витратах.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Другий варіант	Ні	Заняття конкурентної ніші

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто спроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Якість	Лідерства на витратах	Висока якість	Оптимальне співвідношення ціна/якість, покращення існуючих характеристик
2	Точність	Лідерства на витратах	Висока точність	
3	Ціна	Лідерства на витратах	Низька ціна	

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Низька ціна	Найнижча ціна на ринку	Найнижча ціна на ринку
2	Висока якість	Висока якість	Висока якість

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Панель кесона крила літака із композиційних матеріалів		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Вага	М	Вр
	2. Жорсткість	М	Тх
	3. Міцність	М	Тл
	Якість: відповідає вимогам стандартів		
	Пакування: готова деталь		
	Марка: «Pro Kompozit»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: договір, гарантія.		
	Після продажу: доставка, підтримка.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентні права.			

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	5000\$	3500\$	100000\$	2500 - 3000\$

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Найкращі характеристики за найнижчу ціну	Встановлення контакту з клієнтами, інформування про характеристики матеріалу, зберігання.	Канал першого рівня	Виробник безпосередньо збуває продукцію покупцям

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Вибір найбільш привабливого і надійного	Прямі - канал комунікації, коли інформація передається	Висока якість, Низька ціна	Показати всі переваги вдосконаленого	Хороші характеристики та висока

	продукту	безпосередньо від інформатора до інформованої особи		продукту	якість
--	----------	--	--	----------	--------

Висновки до розділу

Як показав проведений вище аналіз, виведення даного продукту на ринок є конкурентоспроможним та рентабельним. Рентабельність виражається у низькому рівні конкуренції, зростанні попиту на продукцію та динаміці ринку, де зростає потреба покупців у заміні монолітних деталей на композиційні.

Основними клієнтами, зацікавленими у використанні КМ, є виробники авіаційної продукції, але в подальшому існує можливість застосування КМ і в інших галузях.

Головними показниками конкурентоспроможності проєкту є його нижча ціна порівняно з аналогами, висока якість, менша вага.

ВИСНОВКИ

Серед нових матеріалів, що використовуються в сучасній авіації, особливе значення мають композиційні матеріали, які являють собою штучно створений неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів, окремих волокон або інших складових та матриці, що їх сполучає, з чіткою межею розділу між ними. За своїми характеристиками КМ відрізняються від властивостей його складових. Компоненти КМ не розчиняються чи поглинають одне одного, вони добре сумісні між собою.

Композиційні матеріали характеризуються низкою різноманітних властивостей, раціональне поєднання яких дозволяє виготовляти оптимальні авіаційні конструкції. Унікальні властивості КМ збільшують міцність деталей, знижують їх вагу й схильність до корозії, а також дозволяють скоротити кількість деталей.

З описаних методів обрано метод вакуумної інфузії. Вакуумна інфузія на сьогодні є найбільш перспективною технологією отримання композиційних матеріалів. Використання вакуумної інфузії як процесу для отримання виробів з КМ обумовлене низкою причин:

- Отримання КМ з високим вмістом армуючого матеріалу;
- Низька пористість;
- Відсутність матеріалів з малим терміном життя (препрегів), час підготовки і складання вакуумного мішка необмежений;
- Відсутність необхідності в дорогих автоклавах або пресах і інжекційних системах;

Можливість виготовлення великих деталей цілком без поділу на складові частини.

Сучасні композиційні матеріали характеризуються не тільки широким спектром механічних, фізичних і хімічних властивостей, а й здатністю до спрямованої їх зміни відповідно до призначення конструкції. Анізотропний характер властивостей КМ означає, що вони можуть мати як високі механічні

характеристики, так і низькі. Тому, ефективна реалізація переваг цих матеріалів у конструкціях вимагає вирішення комплексу завдань, пов'язаних із вибором взаємно узгоджених вихідних компонентів, із визначенням раціональної структури матеріалу, що відповідає полю зовнішніх навантажень та інших впливів, з урахуванням його особливостей і технологічних обмежень.

Проведено розрахунок пакета з композиційних матеріалів з різними характеристиками. Найбільш вдалим виявився пакет з КМ марки КМУ-3Е. Схема укладання пакету: $0^{\circ}, +45^{\circ}, 90^{\circ}, 0^{\circ}, 90^{\circ}, 0^{\circ}, -45^{\circ}, +45^{\circ} \mid -45^{\circ}, -45^{\circ}, 0^{\circ}, 90^{\circ}, 0^{\circ}, 90^{\circ}, +45^{\circ}, 0^{\circ}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по композиционным материалам: в 2-х книгах / под редакцией Дж. Любин / – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
2. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
3. Свирская С.Н. Строение и классификация полимеров: метод. Пособие // С.Н. Свирская, И.Л. Трубников. – Ростов: Издво. Южного федерального университета, 2007. – 22 с.
4. Каргин В.А. Энциклопедия полимеров. Том 1. (А-К). – М. : Советская энциклопедия, 1972. – 609 с.
5. Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1) // Томский политехнический университет, 2013. – с. 14 – 19.
6. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов: учеб. пособие // В.Г. Шевченко. – М. : Изд-во Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, 2010. – 98 с.
7. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие вузов // М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин; под ред. А.А. Берлина. – Спб. : Профессия, 2008. – 560 с.
8. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы // ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с.
9. Рогов В.А., Шкарупа М.И., Велис А.К. Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2011 . – №2. – с. 44 – 46.
10. Алексеев А.Г., Корнев А.Е. Магнитные эластомеры. М.: Химия, 1987. – 240 с.
11. Антонов А.З., Панина Л.В., Сарычев А.К. Высокочастотная магнитная проницаемость композитных материалов, содержащих карбонильное железо // ЖТФ, 1989. – т. 59. – №6. – с. 88 – 94.

12. V. Soloshenko. Conceptual design of civil airplane composite wingbox structures / V. Soloshenko // Materials of the 29-th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (St. Petersburg, Russia, September 7-12, 2014). – P. 1 – 10.
13. Graeme J. Kennedy, Joaquim R. R. A. Martinsy. A Comparison of Metallic and Composite Aircraft Wings Using Aerostructural Design Optimization // American Institute of Aeronautics and Astronautics. – Published Online: 11 Sep. 2012. – P. 1 – 31.
14. Zhao Qun, Ding Yunliang, Jin Haibo. A Layout Optimization Method of Composite Wing Structures Based on Carrying Efficiency Criterion // Chinese Journal of Aeronautics. – №24, 2011. – P. 425 – 433.
15. Архипов О.Г. Лекція 10. Загальна характеристика методів виробництва композитів.
16. Архипов О.Г. Лекція 11. Технології виготовлення КМ. Пропитка армувальних елементів.
17. Атапин В.Г., Пель А.Н., Темников А.И. Сопротивление материалов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006.- 556 с. («Учебники НГТУ»).
18. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – Москва: Изд-во НОТ, 2008. – 822 с.
19. Попов Ю.И., Резниченко В.И. Проектирование и изготовление узлов и деталей планера самолета из композитных материалов: Учебное пособие по курсовому проектированию. – М.: МАИ, 1994 г. – 68 с.
20. Трунин Ю.П., Ушаков А.Е. Некоторые вопросы оценки и обеспечения эксплуатационной живучести конструкций планера самолета, выполненных из композиционных материалов. – В кн.: Проектирование, расчет и испытания конструкций из композиционных материалов: Руководящие технические материалы. – М.: Изд. ЦАГИ, 1984, вып. X.[5, С.387].